

AUS DEM LEHRSTUHL  
FÜR ORTHOPÄDIE  
PROF. DR. MED. DR. H.C. J. GRIFKA  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Zusammenhang zwischen Sagittaler Balance und Patientenzufriedenheit  
nach lumbaler Spondylodese**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Stefanie Wolkerstorfer

2021



AUS DEM LEHRSTUHL  
FÜR ORTHOPÄDIE  
PROF. DR. MED. DR. H.C. J. GRIFKA  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Zusammenhang zwischen Sagittaler Balance und Patientenzufriedenheit  
nach lumbaler Spondylodese**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Stefanie Wolkerstorfer

2021



Dekan:

Prof. Dr. med. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. med. Achim Benditz

2. Berichterstatter:

PD Dr. med. Patrick Hoffstetter

Tag der mündlichen Prüfung:

05.08.2021

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
1.1	Die Anatomie der Wirbelsäule.....	6
1.2	Bewegungsausmaße der Wirbelsäule .....	8
1.3	Die Bedeutung der Sagittalen Balance .....	9
1.4	Spondylolisthesis.....	14
1.4.1	Definition und Einteilung .....	14
1.4.2	Symptomatik.....	17
1.4.3	Diagnostik.....	18
1.4.4	Konservative Therapie .....	20
1.4.5	Operative Therapie.....	21
1.5	Zielsetzung der Arbeit .....	23
2	Methodik.....	24
2.1	Studiendesign.....	24
2.2	Patientenkollektiv und Einschluss- /Ausschlusskriterien.....	24
2.3	Inhalte der Nachuntersuchung .....	26
2.3.1	Fragebögen .....	26
2.3.2	Ausmessung von Röntgenbildern mittels Surgimap .....	28
2.3.3	Methoden der Oberflächenmessungen .....	31
2.3.4	Körperliche Untersuchung.....	32
2.4	Statistik .....	33
2.4.1	(Einfache) Lineare Regression/ Regressionsanalyse .....	33
2.4.2	T – Test bei unabhängigen Stichproben .....	33
2.4.3	Mann – Whitney – U – Test.....	34
2.4.4	Chi – Quadrat – Test (Kreuztabellen) .....	34
3	Ergebnisse .....	35
3.1	Anthropometrische Daten des Patientenkollektivs.....	35
3.1.1	Gruppenzuordnung .....	35
3.1.2	Geschlecht .....	36
3.1.3	Alter .....	37
3.1.4	Body – Mass – Index (BMI) .....	39
3.2	Parameter der Sagittalen Balance .....	39
3.2.1	Lendenlordose der Ganzkörperwirbelsäulenaufnahmen (LL GKWS).....	40
3.2.2	Sagittal Vertical Axis (SVA) .....	41
3.2.3	Prozentualer Anteil der unteren Lendenlordose an der gesamten Lendenlordose .....	42
3.3	Fragebögen.....	43
3.3.1	Allgemeiner Teil (BMI/ Alter/ Geschlecht) .....	43
3.3.1.1	Linearer Zusammenhang zwischen BMI und Rückenschmerzen prä- und postoperativ .....	43
3.3.1.2	Linearer Zusammenhang zwischen BMI und Beinschmerzen prä- und postoperativ.....	46
3.3.1.3	Linearer Zusammenhang zwischen dem Alter und Rückenschmerzen prä- und postoperativ .....	48
3.3.1.4	Linearer Zusammenhang zwischen dem Alter und Beinschmerzen prä- und postoperativ .....	51

3.3.1.5	Mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede der Rückenschmerzen prä- und postoperativ .....	53
3.3.1.6	Mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede der Beinschmerzen prä- und postoperativ .....	56
3.3.2	Auswirkungen der Sagittalen Balance in Form der Lendenlordose auf verschiedene Schmerzkriterien sowie Alltagsprobleme .....	59
3.3.2.1	Schmerzveränderung .....	59
3.3.3	Einsatz von Schmerzmittel .....	62
3.3.3.1	Zusammenhang zwischen Gruppen und dem Einsatz von Schmerzmittel .....	62
3.3.3.2	Zusammenhang von $LL = PI \pm 10$ und dem Einsatz von Schmerzmittel .....	63
3.3.4	Zufriedenheit der Patienten innerhalb der Gruppen .....	65
3.3.4.1	Zusammenhang zwischen $LL = PI \pm 10$ und Zufriedenheit der Patienten .....	67
3.4	Klinische Schmerzen .....	69
3.4.1	Zusammenhang zwischen $LL = PI \pm 10$ und ISG Druckschmerz .....	69
3.4.2	Zusammenhang zwischen $LL = PI \pm 10$ und Reklinationsschmerz .....	71
3.4.3	Zusammenhang zwischen $LL = PI \pm 10$ und Finger – Boden – Abstand (FBA) .....	73
3.5	Psychologische Tests .....	75
3.5.1	Die Depressions – Angst – Stress – Skala (DASS) bezogen auf $LL = PI \pm 10$ .....	75
3.5.1.1	DASS Depression .....	75
3.5.1.2	DASS Angst .....	77
3.5.1.3	DASS Stress .....	78
3.5.2	Oswestry Disability Index (ODI) bezogen auf $LL = PI \pm 10$ .....	79
3.5.3	Die Depressions – Angst – Stress – Skala (DASS) bezogen auf SVA .....	81
3.5.3.1	DASS Depression .....	81
3.5.3.2	DASS Angst .....	83
3.5.3.3	DASS Stress .....	84
3.5.4	Oswestry Disability Index (ODI) bezogen auf SVA .....	85
4	Diskussion .....	87
4.1	Anthropometrische Daten .....	87
4.2	Parameter der Sagittalen Balance .....	88
4.3	Fragebögen .....	90
4.3.1	Allgemeiner Teil (BMI/ Alter/ Geschlecht) .....	90
4.3.2	Schmerzveränderung .....	91
4.3.3	Einsatz von Schmerzmittel .....	93
4.3.4	Patientenzufriedenheit bzgl. OP – Ergebnis .....	94
4.4	Klinische Schmerzen .....	96
4.4.1	Druckschmerz ISG .....	96
4.4.2	Reklinationsschmerz .....	97
4.4.3	Finger – Boden – Abstand (FBA) .....	98
4.5	Psychologische Tests .....	100
4.5.1	Depressions – Angst – Stress Skala (DASS – 21) bezogen auf $LL = PI \pm 10$ und SVA .....	100
4.5.2	Oswestry Disability Index (ODI) bezogen auf $LL = PI \pm 10$ und SVA .....	102
5	Zusammenfassung .....	105
6	Literaturverzeichnis .....	107

7	Anhang.....	116
7.1	Abkürzungsverzeichnis .....	116
7.2	Abbildungsverzeichnis .....	118
7.3	Tabellenverzeichnis .....	121
8	Eidesstattliche Erklärung .....	122
9	Danksagung .....	123



# 1 Einleitung

## 1.1 Die Anatomie der Wirbelsäule

Die menschliche Wirbelsäule ist aus 33 Wirbeln aufgebaut, wobei sie in 7 zervikale, 12 thorakale, 5 lumbale, 5 sakrale und 4 kokzygeale Wirbel unterteilt wird. Da die sakralen und kokzygealen Wirbel untereinander verschmolzen sind, gibt es insgesamt 24 Segmente, die für die Beweglichkeit der Wirbelsäule zuständig sind (1).

In der sagittalen Ansicht erkennt man eine doppelte S-förmige Krümmung der Wirbelsäule. Diese ergibt sich aus den jeweiligen Lordosen (zervikal und lumbal) und Kyphosen (thorakal und sakral). Die Ausbildung dieser charakteristischen Krümmungen ist die Folge des aufrechten Ganges. Während ein Neugeborenes aufgrund der Fetushaltung im Mutterleib eine „kyphosierte“ Wirbelsäule besitzt, entwickeln sich im Laufe des Lebens, durch eine stärker werdende Nackenmuskulatur und die Fähigkeit sich aufzurichten, die Hals- und Lendenlordose (2). Daraus ergibt sich, dass die zervikalen und lumbalen Wirbelsegmente für die aufrechte Haltung eine wichtige Rolle spielen. Die Rippen und der Beckenring sind an den thorakalen und sakralen Elementen verankert (1).

Die Gesamtheit aller Bewegungssegmente ermöglicht es der Wirbelsäule, die Vielfalt an Bewegungen vollständig auszuschöpfen. Zu den Bestandteilen dieser Segmente zählen Wirbel mit dazwischen liegenden Disci intervertebrales, Foramina intervertebralia, Wirbelbogengelenke, Bänder und diverse Muskeln (3).

Alle Wirbel, bis auf die ersten zwei Halswirbel, sind grundsätzlich gleich aufgebaut: sie besitzen einen Wirbelkörper (Corpus vertebrae), der zusammen mit dem Wirbelbogen (Arcus vertebrae) das Foramen vertebrale umfasst. Alle Wirbellöcher bilden zusammen den Canalis vertebralis, den Wirbelkanal, durch den das Rückenmark läuft. Der Arcus vertebrae wiederum setzt sich aus dem Pediculus arcus vertebrae und der Lamina arcus vertebrae zusammen und weist insgesamt 7 Fortsätze auf: einen Processus spinosus, zwei Processus transversi und vier Processus articulares. An den Procc. spinosi und transversi setzen diverse Muskeln und Bänder an.

Die Procc. articulares superiores bzw. inferiores eines Wirbels bilden mit denselben Fortsätzen der benachbarten Wirbelsegmente die sogenannten Articulationes zygapophysiales, die Wirbelbogen- oder Facettengelenke aus.

Durch die im Halsbereich vorhandenen Foramina transversaria läuft ab dem 6. Halswirbel beidseits die Arteria vertebralis (4).

Betrachtet man die einzelnen Bauelemente der Wirbelsäule von kranial nach kaudal, erkennt man, dass die Wirbelkörper an Größe zunehmen, um die steigende Last des Körpers meistern zu können. Die Wirbellöcher werden jedoch kleiner und der Wirbelkanal dadurch auch enger, da das Rückenmark nach kaudal hin immer dünner wird (2).

Weitere wichtige Bestandteile der menschlichen Wirbelsäule sind die Bandscheiben (Disci intervertebrales). Sie befinden sich zwischen den Wirbelkörpern und sind mit der hyalinen Knorpelschicht der Deck- und Bodenplatten verbunden. Jede Bandscheibe ist aus zwei Anteilen aufgebaut: im Inneren liegt der Nucleus pulposus, welcher aufgrund seiner gallertartigen Konsistenz nicht komprimierbar ist und bei Belastung, zusammen mit dem ihn umgebenden Anulus fibrosus, als „Stoßdämpfer“ fungiert, indem sie große Drücke an die benachbarten Strukturen gleichmäßig abgeben. Die Versorgung der Bandscheiben erfolgt über Diffusion durch die Wirbelkörper (3).

Um die Stabilität und Balance bei jeder Bewegung zu gewährleisten, benötigt die Wirbelsäule einen guten Bandapparat und funktionierende Muskeln. Das Ligamentum longitudinale anterius, welches die Dorsalextension hemmt, verläuft auf der Ventralseite und verbindet die einzelnen Wirbel miteinander, ohne die Bandscheiben fest zu verankern. Diese sind mit dem Ligamentum longitudinale posterius, das sich auf der Rückseite der Wirbelsäule befindet, verbunden. Beide Bänder unterstützen die Wirbelsäule darin, ihre typische Form beizubehalten. Die sogenannten Wirbelbogenbänder, zu denen die Ligamenta flava zählen, haben die Aufgabe, die Rückenmuskulatur dabei zu unterstützen, die Wirbelsäule in ihre aufrechte Position zurückzubringen. Zu den Bändern, die zwischen den Wirbelfortsätzen verlaufen, zählen die Ligg. interspinalia, das Lig. supraspinale, das in der HWS lokalisierte Lig. nuchae und die Ligg. intertransversaria. Letztgenannte hemmen hauptsächlich die Lateralflexion der kontralateralen Seite (3).

Für ein gutes Zusammenspiel aller Bewegungen sind unter anderem die autochthone Rückenmuskulatur, die ein nach vorne Kippen des Rumpfes verhindert, die vordere und seitliche Bauchmuskulatur, sowie der M. psoas major, besonders wichtig (4).

Das Rückenmark läuft durch den Wirbelkanal und endet beim Erwachsenen ungefähr bei L1 – L2. Ab diesem Segment zieht es als sogenannte Cauda equina nach kaudal, wobei von diesem Nervenfaserbündel beidseits Spinalnerven abgehen und es dadurch immer schmaler wird. Das Rückenmark ist von drei Hirnhäuten (von Innen nach Außen: Pia mater – Arachnoidea mater – Dura mater) umschlossen und in Liquor eingebettet. Man unterscheidet die graue von der weißen Substanz, wobei motorische, sensible und vegetative Informationen in der grauen Substanz verarbeitet und über auf- und absteigende Bahnen, die sich in der weißen Substanz befinden, geleitet werden.

Jeder Spinalnerv setzt sich aus einer Vorder- und Hinterwurzel zusammen und weist daher sowohl motorische als auch sensible Eigenschaften auf. Sie durchlaufen die Foramina intervertebralia und befinden sich im zervikalen Bereich oberhalb, ab der thorakalen Wirbelsäule unterhalb des zugeordneten Wirbels (5). Werden die Spinalnerven in ihrer Funktion gestört (z. B.: Bandscheibenvorfall), kann dies zu Schmerzen, sensiblen und motorischen Ausfällen in den jeweiligen Dermatomen führen.

## 1.2 Bewegungsausmaße der Wirbelsäule

Die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule kann in drei Hauptrichtungen unterteilt werden: Lateralflexion – Ventralexion/ Dorsalextension – Rotation.

Die einzelnen Bewegungsausmaße sind jedoch in den jeweiligen Abschnitten der Wirbelsäule unterschiedlich:

in der Halswirbelsäule können folgende Gradzahlen, ausgehend von der Neutralnullmethode, erreicht werden:

Lateralflexion:  $35^{\circ}$  -  $0^{\circ}$  -  $35^{\circ}$

Inklination/Reklination:  $65^{\circ}$  -  $0^{\circ}$  -  $40^{\circ}$

Rotation:  $50^{\circ}$  -  $0^{\circ}$  -  $50^{\circ}$

In der Brust- und Lendenwirbelsäule werden folgende Zahlen angegeben:

Lateralflexion:  $40^{\circ}$  -  $0^{\circ}$  -  $40^{\circ}$

Ventralflexion/Dorsalextension:  $85^{\circ}$  -  $0^{\circ}$  -  $60^{\circ}$

Rotation:  $40^{\circ}$  -  $0^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  (2)

### 1.3 Die Bedeutung der Sagittalen Balance

Eine der entscheidendsten Aufgaben der Wirbelsäule ist es, das Gleichgewicht in jeder beliebigen Position zu halten. Um diese so effizient wie möglich zu erfüllen, bedarf es nicht nur einem guten Zusammenspiel zwischen Muskulatur, Bandapparat und Wirbelsäule, sondern auch die Stellung des Beckens und der unteren Extremität sind für den Erhalt der Balance von besonderer Bedeutung (6).

Von der sagittalen Ansicht aus betrachtet, wird die globale Balance im Allgemeinen dadurch definiert, dass ein Lot, ausgehend vom Zentrum des 7. Halswirbels, die Hinterkante der S1 – Deckplatte annähernd schneidet und sich hinter der Hüftgelenksachse befindet. Damit diese Position mit so wenig Kraftaufwand wie möglich erhalten bleibt, ist besonders die Stellung des Beckens ausschlaggebend, da sich nach ihr die Wirbelsäule ausrichtet. Jean Dubousset erkannte schon 1975 die Wichtigkeit der sogenannten spinopelvinen Balance. Nachdem sie anfänglich klinisch wenig Bedeutsamkeit hatte, erlangt sie heutzutage bei der chirurgischen Behandlung verschiedenster Wirbelsäulendeformitäten immer mehr an entscheidender Bedeutung (7).

Folgende Schlüsselparameter sind für die Abschätzung und Analysierung der globalen sagittalen Balance relevant: Pelvic Incidence (PI), Pelvic Tilt (PT), Sacral Slope (SS), Sagittal Vertical Axis (SVA) und das Ausmaß der Wirbelsäulenkrümmungen, insbesondere die Thorakale Kyphose (TK) und Lumbale Lordose (LL).

Die Pelvic Incidence als morphologischer Parameter ist eine individuelle, von der Haltung des Körpers unabhängige Größe, die im Alter von 4 bis ca. 18 Jahren am stärksten zunimmt und sich im Erwachsenenalter nicht weiter ändert (8,9). Sie entspricht einem Winkel, der dadurch entsteht, dass eine Linie, die vom Zentrum der Hüftköpfe zum Mittelpunkt der S1 – Deckplatte führt und mit einer senkrechten Linie zu dieser in Verbindung steht (10). Dieser Wert spielt die wichtigste Rolle für die Aufrechterhaltung der Balance, da er die Position des Beckens definiert und sich daher alle anderen Beckenparameter (PT, SS) und Wirbelsäulenkrümmungen an ihn anpassen müssen. Die Ausprägung der LL beispielsweise hängt von der Größe der PI ab. Liegt ein höherer PI Wert vor, so nimmt der SS zu und die Lendenlordose verstärkt sich, bei niedrigen PI Werten nimmt der SS ab und die Lendenlordose dadurch auch. Die Standardgröße für die Pelvic Incidence liegt bei etwa  $53 \pm 9^\circ$  (11).

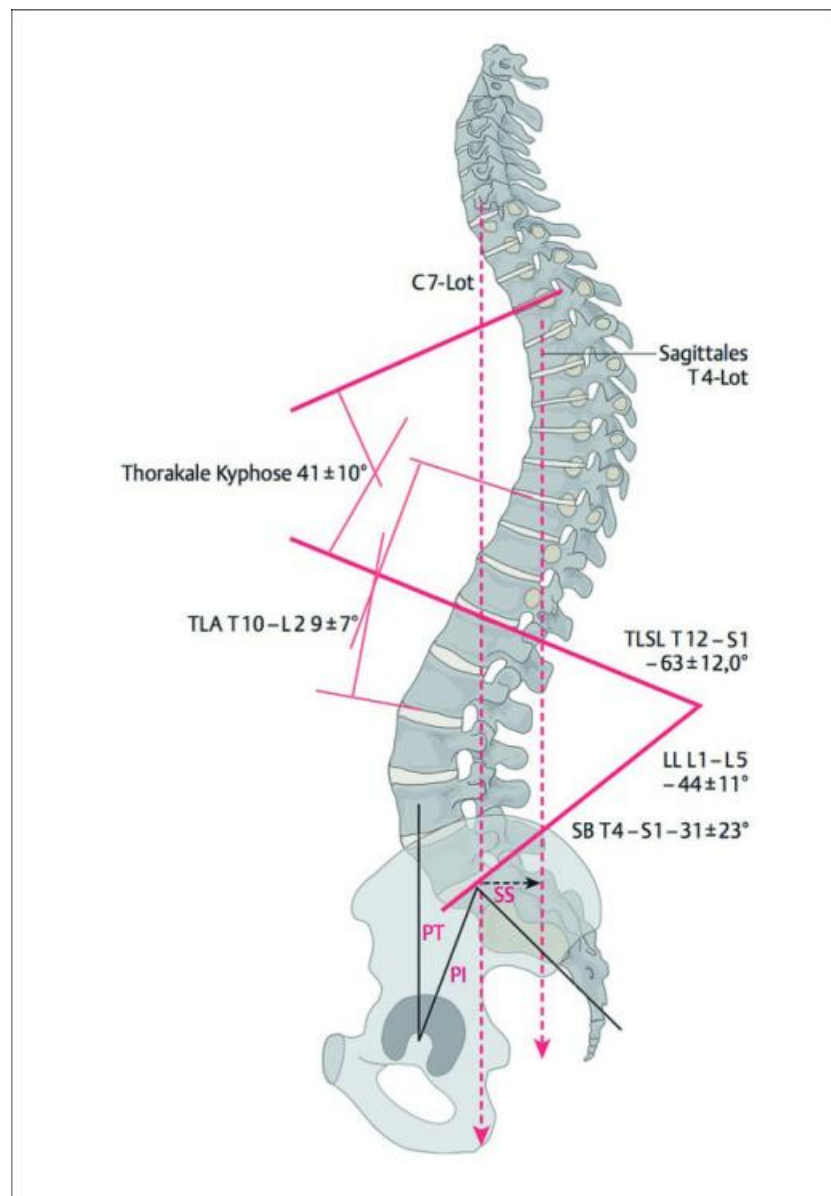
Zu den pelvinen Parametern zählen neben der Pelvic Incidence auch noch der Pelvic Tilt und der Sacral Slope. Während sich der PT Wert wie die Pelvic Incidence bis ins Erwachsenenalter weiterentwickelt und ansteigt, ändert sich der SS nach Erlangen des aufrechten Standes nicht weiter. Da die PI jedoch eine konstante Größe ist, sind PT und SS demzufolge lageabhängige Größen (9).

Der Pelvic Tilt ist ein Winkel zwischen einer Verbindungslinie vom Zentrum der Hüftköpfe und Mittelpunkt der S1 – Deckplatte und einer vom Hüftkopfszentrum ausgehenden Vertikalen. Dieser Wert ist für die Beckenrotation charakteristisch und ändert sich dementsprechend bei Lageänderung, wobei der PT bei Anteversion abnimmt und bei Retroversion zunimmt (8). Er zählt zu den wichtigsten Kompensationsmechanismen zur Erhaltung der Sagittalen Balance, indem z. B. durch Retroversion des Beckens die nach ventral verlagerte Wirbelsäule wieder nach hinten gebracht wird. Die Standardwerte des Pelvic Tilt liegen ungefähr bei  $13 \pm 6^\circ$  (7).

Der Sacral Slope ist definiert als ein Winkel zwischen der Deckplatte von S1 und einer Horizontalen und beträgt ca.  $41 \pm 8^\circ$  (7). Mit diesem als letzten Beckenparameter kann das Verhältnis dieser drei Werte zueinander mit folgender Formel beschrieben werden:  $PI = PT + SS$ . Da die PI als fixe Größe definiert ist, müssen die PT und SS sich gegenseitig anpassen, um die Gleichung zu erfüllen, d. h. bei Zunahme vom Pelvic Tilt muss der SS folglich kleiner werden und umgekehrt (12).

Die thorakale Kyphose (TK) und lumbale Lordose (LL), die zu den sogenannten spinalen Parametern zählen, werden mithilfe der Cobb Methode ermittelt.

Die TK ist definiert als Winkel zwischen der Deckplatte von Th4 und der Endplatte von Th12 und beträgt ungefähr  $47^\circ$ . Die LL wird von der L1 – Deckplatte auf die S1 – Deckplatte bemessen und liegt im Mittel bei  $46,5^\circ$  (6,13).



**Abbildung 1:** *Sagittale Parameter der Wirbelsäule in der Schemazeichnung (aus L. Ferraris et al: „Die Bedeutung der sagittalen Balance in der Wirbelsäulenchirurgie“ 2012) (14)*

Die Lendenlordose kann weiter in einen oberen und unteren Abschnitt unterteilt werden. Die Studie von Roussouly et al. zeigte, dass der untere Bereich (L4 - S1) ca. 70% der gesamten LL ausmacht und der obere Bereich der Lendenlordose annähernd gleich bei 20 - 21° liegt (8,15).

Wie bereits weiter oben erwähnt, ist das Ausmaß der LL von der Größe der PI abhängig. Diese enge Beziehung wird genutzt, um eine grobe Einschätzung der Lendenlordose zu gewinnen. Die Formel für die ideale LL lautet:  $LL = PI + 9 (\pm 9^\circ)$ , für eine grobe Einschätzung sollte sie sich zumindest bei  $LL = PI \pm 10$  befinden. Liegt ein Missverhältnis zwischen den beiden Parametern vor, führt dies nicht selten zu einer Fehlstellung der Wirbelsäule und dadurch zu einem Verlust der Sagittalen Balance (16).

Für eine grobe Beurteilung der Sagittalen Balance wird gerne die Sagittal Vertical Axis (SVA) zu Hilfe genommen. Sie beschreibt den Abstand zwischen dem Lot, ausgehend vom Zentrum von C7 und der Hinterkante von S1. Dieser Abstand sollte nicht mehr als 5 cm betragen, da ansonsten ein ökonomisches Gleichgewicht nicht mehr hergestellt werden kann (16,17). Fällt das Lot vor die S1 – Hinterkante, wird dieser Zustand als positive Sagittale Balance bezeichnet, fällt das Lot jedoch hinter die S1 – Hinterkante, spricht man von einer negativen Sagittalen Balance (18).

Dieser Parameter ist für eine grobe Einschätzung der globalen Sagittalen Balance gut geeignet, für die genaue Therapieplanung bei Wirbelsäulendeformitäten wird aber die SRS – Schwab – Klassifikation (SRS: Scoliosis Research Society) herangezogen. Diese beinhaltet zum einen die Zuordnung der Patienten zu einem bestimmten Kurventyp, der sich auf die koronare Deformität bezieht, und zum anderen eine Beurteilung der sagittalen Deformität mithilfe der Parameter PI – LL, PT und SVA (19).

Neben der Bemessung der SVA gibt es die Th1 und Th9 Spinal Inclination (T1Spi und T9Spi) als weiteren Wert, der für die Abschätzung der globalen Statik Verwendung findet. Sie beschreibt einen Winkel zwischen einer Vertikalen und ihrer Verbindungslinie ausgehend vom Zentrum des BWK 1 bzw. BWK 9 zum Mittelpunkt der Hüftköpfe (6).

All diese Werte, sowohl pelvine als auch spinale Parameter, stehen in enger Beziehung zueinander und ermöglichen nur durch präzise Zusammenarbeit die Aufrechterhaltung der Sagittalen Balance. Wird diese durch diverse

Wirbelsäulendeformitäten gestört, versucht der Körper mithilfe verschiedener Kompensationsmechanismen die Fehlstellung auszugleichen, um dadurch die aufrechte Haltung und die horizontale Blickachse zu erhalten. Dabei benötigt der Körper jedoch viel mehr Energie, wodurch es früher oder später zum Versagen jener Korrekturmechanismen kommt und die Lebensqualität aufgrund entstehender Schmerzen darunter leidet (20).

Das globale Sagittale Alignment kann abhängig vom Ausmaß der Imbalance in drei Kategorien eingeteilt werden: Sagittale Balance – kompensierte Sagittale Imbalance – dekomensierte Sagittale Imbalance. Bei der balancierten Variante verläuft das C7 – Lot im Bereich zwischen 25mm und 50mm der S1 – Hinterkante, bei der kompensierten Imbalance gelingt dies nur mit gesteigerter Muskelkraft. Im dekomensierten Zustand ist es der Wirbelsäule unmöglich, das Lot in den gewünschten Grenzbereich zu bringen. Zusätzlich sind die Kompensationsmechanismen in dieser Situation bereits vollständig ausgeschöpft (21).

Es gibt verschiedene Gründe, die den Körper ins Ungleichgewicht bringen können, die zwei häufigsten sind eine abgeflachte Lendenlordose und eine thorakale Hyperkyphose (16). Der Körper besitzt dafür mehrere Möglichkeiten, sich mit gesteigertem Energieaufwand ins Gleichgewicht zurück zu bringen. Zum einen kann die Wirbelsäule selbst solche Fehlstellungen korrigieren, zum anderen weisen auch das Becken und die unteren Extremitäten Kompensationsmechanismen auf. Um eine flache LL so gut wie möglich zu korrigieren, versucht die Wirbelsäule die thorakale Kyphose zu reduzieren. Eine thorakale Hyperkyphose, wie beispielsweise beim Morbus Scheuermann oder als Folge des Alterungsprozesses, führt zu einer verstärkten Krümmung in der Lendenwirbelsäule (21). Da man für diese Korrektur flexible Elemente und eine suffiziente Muskulatur braucht, kann es beispielsweise für Patienten, deren Wirbelsäule bereits versteift wurde, problematisch sein, solche Fehlstellungen auszugleichen. In derartigen Situationen kommt dann das Becken zum Einsatz. Der Pelvic Tilt (PT) spielt in der Hinsicht die wichtigste Rolle als Kompensationsmechanismus. Durch eine Retroversion des Beckens, versucht der Körper sich wieder in Balance zurück zu bringen, wobei der PT dabei ansteigt. Ausgehend von der engen Beziehung der pelvinen Parameter zueinander ( $PI = PT + SS$ ), ist es nicht verwunderlich, dass auch bei dieser Korrekturmöglichkeit die PI der limitierende Faktor ist. So können Patienten, die einen größeren PI Wert



aufweisen, in einem weiteren Umfang kompensieren, als Patienten mit einer kleinen PI (22).

Reicht die Retroversion des Beckens nicht aus, um die horizontale Blickachse aufrecht zu erhalten, kommen die Knieflexion und Sprunggelenksextension ins Spiel. Diese Kompensationen werden häufig bei Patienten mit degenerativen Wirbelsäulendeformitäten beobachtet (22). Diese äußerst unphysiologische Haltung führt rasch zur Ermüdung der Muskulatur, weshalb besonders ältere Patienten Gehhilfen als Unterstützung benutzen (16).

Kommt es schließlich zum Versagen der Kompensationsmechanismen, aufgrund fortschreitender Wirbelsäulenerkrankung oder muskulärer Erschöpfung, verlagert sich das C7 – Lot wieder ventral der Hüftgelenksachse. Daraus resultierende Schmerzen und eine deutliche Einschränkung der Lebensqualität sind die Folgen, die sich aber im kompensierten Zustand auch schon zeigen können (16). Steht eine Operation als bevorzugte Therapie im Vordergrund, sollte versucht werden, die Sagittale Balance so gut wie möglich wiederherzustellen, wobei insbesondere die Korrektur der Werte PI – LL, PT und SVA im Mittelpunkt stehen sollten. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, die Schmerzen zu reduzieren und so viel Lebensqualität wie möglich wieder zu erlangen (20).

## 1.4 Spondylolisthesis

### 1.4.1 Definition und Einteilung

Der Begriff „Spondylosis“ hat seinen Ursprung in Griechenland und lautet „Wirbelgleiten“ (*spondylo* = Wirbel; *olisthesis* = gleiten). Dabei kommt es zu einer meist nach vorne gerichteten Bewegung eines Wirbels, wobei sich der Anteil der Wirbelsäule, welcher kranial des Gleitwirbels liegt, ebenfalls nach ventral verlagert. Dies wird als Ventrolisthesis bezeichnet, ein dorsales Gleiten hingegen als Retrolisthesis. Diese Pathologie kann prinzipiell in der gesamten Wirbelsäule auftreten, die häufigste Lokalisation ist jedoch der Lendenbereich (23).

Die Spondylolisthesis kann aufgrund unterschiedlicher Ursachen in verschiedene Typen eingeteilt werden, wobei dafür zwei Klassifikationen zur Verfügung stehen:

die Klassifikation nach Wiltse et al. und nach Marchetti/ Bartolozzi. Erstere gliedert dieses Krankheitsbild in fünf Gruppen:

1. Der **dysplastische Typ** beschreibt eine angeborene Fehlbildung der Wirbelgelenke im Bereich des lumbosakralen Übergangs (L5 - S1). Zusätzlich besteht eine enge Verbindung zu anderen angeborenen Anomalien, wie beispielsweise der Spina bifida (24).
2. Beim **isthmischen Typ** liegt der Defekt im Bereich der Pars interarticularis, wobei hier zwischen drei Untergruppen (A, B, C) unterschieden werden muss: die lytische Olisthesis (A) weist eine Spaltbildung der Pars interarticularis auf, die durch rezidivierende Mikrofrakturen, meist Ermüdungsfrakturen, verursacht werden. Die alleinige Spaltbildung wird auch als Spondylolyse bezeichnet, ein Wirbelgleiten muss jedoch nicht immer folgen. Die lytische Form der Spondylolisthesis kann bereits im Kindes- bzw. jugendlichen Alter auftreten und weist eine geringe Progression bei Erwachsenen auf. Die Entwicklung einer hochgradigen Spondylolisthesis (= Abrutschen des betroffenen Wirbels > 50% gegenüber darunter liegendem Wirbel) ist im Erwachsenenalter zwar möglich, tritt aber dennoch selten auf (1,24). Am häufigsten ist die isthmische Olisthesis zwischen L5 und S1 zu finden. Bestimmte Sportarten, wie Stabhochsprung, Kunstturnen und Volleyball begünstigen eine verstärkte Lordosierung der Wirbelsäule und können dieses Krankheitsbild dadurch verschlimmern (1).

Bei der nächsten Untergruppe (B) findet man ebenfalls aufgrund Mikrofrakturen defekte Pars interarticularis, mit dem Unterschied, dass diese Frakturen im Gegensatz zur lytischen Form wieder zusammenwachsen und in einem „gedehnten“ Zustand verbleiben.

Kommt es aufgrund eines akuten Traumas zum Bruch der Pars interarticularis, spricht man vom Subtyp C (25).

3. Als weitere Kategorie findet man die **degenerative Spondylolisthesis**. Sie ist die häufigste Form, die bei Erwachsenen vorkommt. Degenerative Veränderung an den Facettengelenken und der Bandscheiben sind die Hauptursachen für ein beginnendes Wirbelgleiten. Im Gegensatz zur

isthmischen Variante, zeigt sich hier kein Defekt des hinteren Wirbelbogens, weshalb ein zu starkes Abrutschen des betroffenen Wirbels (mehr als 30%) eher selten vorkommt. Dieses Krankheitsbild findet man häufiger bei älteren Patienten (> 40 LJ), wobei das weibliche Geschlecht wesentlich öfter darunter leidet. Ihre bevorzugte Lokalisation befindet sich zwischen L4 und L5. Ein häufig auftretendes Merkmal der degenerativen Spondylolisthesis, ist die Entwicklung einer spinalen Stenose (1,24).

4. Der vierte Typ, der in der Klassifikation nach Wiltse et al. als **posttraumatische Form** aufgelistet wird, tritt eher selten auf. Dabei kommt es durch ein akutes Trauma zu Frakturen meist im Bereich der Pedikel oder Wirbelgelenke, ohne Beteiligung der Pars interarticularis (25).
5. Weitere Ursachen für die Entwicklung des Wirbelgleitens sind auch diverse Knochenkrankheiten, wie beispielsweise Morbus Paget, Infektionen oder Tumore, die zur Instabilität der Pars interarticularis führen. Diese Form wird dann als **pathologischer Typ** bezeichnet (24).
6. Später wurde der Einteilung noch eine weitere Kategorie hinzugefügt, die hauptsächlich nach Wirbelsäulenoperationen auftritt: der **postoperative Typ**. Er beschreibt ein Wirbelgleiten, das zum Beispiel durch eine zu weite Dekompression verursacht werden kann (23).

Marchetti und Bartolozzi haben diese Klassifikation weiter modifiziert, indem sie die jeweiligen Subtypen in zwei große Gruppen gegliedert haben. Zum einen werden der dysplastische und der isthmische Typ als **angeborene** Pathologien bezeichnet, zum anderen gibt es die Kategorie der **erworbenen** Spondylolisthesen, zu denen die restlichen Formen zählen (24). Ein weiteres wichtiges Merkmal dieser Klassifikation ist die Unterteilung in eine hochgradige und geringgradige Dysplasie. Dabei spielt die Anatomie des Sakrums eine entscheidende Rolle: während bei geringgradiger Dysplasie die Form des Sakrums annähernd gleich bleibt, wird bei hochgradigen Fehlbildungen sehr oft ein gewölbtes Sakrum beschrieben.

Aufgrund dieser Abrundung kann es bei hochgradigen Dysplasien eher zu einer Verschlechterung des Krankheitsbildes kommen als bei geringgradigen (26).

### 1.4.2 Symptomatik

Dementsprechend zeigen sich, abhängig von der Art der Spondylolisthesis, auch Unterschiede im klinischen Erscheinungsbild. Bei den kongenitalen Störungen präsentiert sich neben tiefsitzenden Rückenschmerzen auch gelegentlich ein pathologisches Gangbild, ausgelöst durch eine Steifigkeit der ischiokruralen Muskulatur (23). Radikuläre Beinschmerzen, besonders im Bereich der L5 – Nervenwurzel, können beim isthmischen Typ auftreten. Aufgrund der Spaltbildung der Pars interarticularis verschiebt sich das Bandscheibengewebe Richtung Nervenwurzel und kann sie dadurch reizen. Auch eine sich entwickelnde Pseudarthrose in der Lysezzone kann zu Irritationen der Nerven L5 und S1 führen (27).

Die degenerative Olisthesis zeichnet sich durch folgende Punkte aus: an erster Stelle steht der Rückenschmerz, hauptsächlich ausgelöst durch die starke Abnutzung der Facettengelenke. Die sich entwickelnde spinale Stenose kann zu einer Claudicatio – Symptomatik führen. Die Radikulopathie mit ausstrahlenden Schmerzen in die Beine beschreibt das dritte und am häufigsten auftretende Merkmal der degenerativen Spondylolisthesis (23). Blasen– und Mastdarmstörungen können aufgrund einer Kompression der Cauda equina vorkommen, sind aber besonders selten (1). Betroffene Patienten weisen bei der körperlichen Untersuchung oft eine verstärkte Lendenlordose auf (27). Dies ist auf eine Hyperextension der angrenzenden Segmente zurückzuführen, die den Verlust der Lendenlordose zu kompensieren versucht (22). Bei schwerwiegenden Fällen ist das sogenannte Sprungschanzenphänomen sichtbar, das eine auch spürbare Stufenbildung entlang der Dornfortsätze im kranken Bereich der Wirbelsäule beschreibt (27).

### 1.4.3 Diagnostik

Um das Ausmaß der Erkrankung besser beurteilen und bestmöglich therapieren zu können, stehen verschiedene bildgebende Verfahren für die Diagnostik zur Verfügung. Die Anfertigung von **Röntgenaufnahmen** in zwei Ebenen (anterior – posterior und lateral) ermöglicht es dem Untersucher die Veränderungen an der Wirbelsäule besser zu erkennen. Besonders in der lateralen Ansicht kann man den Schweregrad der Spondylolisthesis bewerten und einteilen. Dabei gibt es zwei Methoden: bei der Einteilung nach Meyerding wird die Deckplatte des Wirbels, der unter dem Gleitwirbel liegt, in vier Grade unterteilt. Je weiter sich der betroffene Wirbel nach ventral verlagert, umso höher ist das erreichte Stadium. Kommt es zu einem vollständigen Abkippen des Wirbels, wird dies als Spondyloptose bezeichnet und kennzeichnet das fünfte Stadium.

Eine genauere Beurteilung erhält man jedoch, wenn der Gleitvorgang in Prozente angegeben wird. Dazu wird die Länge des abgerutschten Wirbels durch die gesamte Länge des darunter liegenden Wirbels dividiert und mit dem Faktor 100 multipliziert (23).

Aufgrund des Gleitvorganges kommt es zu einer Kyphosierung im defekten Bereich. Dadurch gelangt der Körper in Imbalance und versucht dies auszugleichen. Um das Ausmaß der Sagittalen Imbalance bewerten zu können, werden Ganzkörperwirbelsäulenaufnahmen im lateralen Strahlengang bevorzugt. Dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass zumindest die Hüftköpfe zu sehen sind, da die Hauptkompensationsmechanismen dort stattfinden. Um eine noch präzisere Einschätzung der Imbalance zu erhalten, wäre die Darstellung der Knie und der Sprunggelenke erforderlich, um alle Möglichkeiten der Kompensation zu erfassen (16). Dabei darf die Strahlenbelastung, die bei solchen Aufnahmen besonders hoch ist, nicht außer Acht gelassen werden. Für den klinischen Alltag erstrebenswert wären alternative Abbildungsmethoden, wie beispielsweise EOS – Imaging. EOS – Imaging ist ein neuartiges Verfahren, das Aufnahmen der gesamten Wirbelsäule und der unteren Extremität aufgrund verbesserter Technik mit nur geringer Strahlendosis erstellen kann (28).

Mithilfe von **Schrägaufnahmen** können die Pars interarticularis am besten untersucht werden. Ist in diesem Bereich ein Lysespalt vorhanden, wird dieser gerne mit dem Bild des „Hundehalsbandes“ beschrieben. Zusätzlich können in der 45° Ansicht auch Einengungen der Foramina intervertebralia diagnostiziert werden. Im Klinikalltag haben diese Aufnahmen jedoch an Bedeutung verloren.

**Funktionsaufnahmen** in Form von Flexion und Extension, ermöglichen die Beurteilung der (In)Stabilität bzw. des Bewegungsausmaßes im kranken Wirbelsäulenabschnitt (1,23).

Aufgrund der besseren Auflösung können knöcherne Defekte der hinteren Bogenwurzel in der **Computer Tomografie (CT)** noch genauer untersucht werden. Diese Bildgebung ist nicht nur für die Unterscheidung zwischen dysplastischem und isthmischem Typ hilfreich, sondern auch bei der Sicherstellung, ob es sich um den Subtyp IIA oder IIC der isthmischen Variante handelt. Weitere Auffälligkeiten im Bereich des Lysespaltes, wie beispielsweise fibrocartilaginöses Gewebe, können dabei auch beurteilt werden (23,27).

Die **Magnetresonanztomografie (MRT)** ist eine optimale Methode für die Bewertung von Weichteilen. Sie ermöglicht ebenfalls wegen der besseren Auflösung eine gute Darstellung von degenerativen Bandscheibenveränderungen und eventuellen Einengungen der Nervenwurzeln (27). Besonders wichtige Bedeutung hat diese Bildgebung bei der Früherkennung einer beginnenden Spaltbildung der Pars interarticularis, die in der CT noch nicht sichtbar ist (29).

Um herauszufinden, ob es sich um eine akute oder chronische Fraktur handelt, kommt die **Knochenszintigrafie** zum Einsatz. Bei frischen Verletzungen nimmt der Knochen dabei vermehrt Technetium 99 auf (23).

Mithilfe der **Myelografie** kann die Spinalkanalweite beurteilt und eventuell vorhandene Nervenwurzelkompressionen diagnostiziert werden. Sie wurde jedoch zum größten Teil von der MRT und CT abgelöst (1,23).

#### 1.4.4 Konservative Therapie

Als therapeutische Möglichkeiten stehen die konservative und operative Behandlung zur Verfügung, wobei besonders bei Kindern die konservative Therapie zuerst im Vordergrund steht (27).

Bei asymptomatischen Kindern, bei denen zufälligerweise eine Spondylolyse oder ein geringgradiges Wirbelgleiten festgestellt wurde, sollte jedes Jahr eine bildgebende Untersuchung stattfinden, um eine Verschlechterung des Krankheitsbildes während des Wachstums rasch zu erkennen und zu behandeln (30). Ein Verzicht auf den Schulsport ist nicht notwendig, Sportarten mit der Gefahr der Hyperlordosierung sollten jedoch gemieden werden (27).

Kommt es bei Kindern und Jugendlichen zu neu aufgetretenen Beschwerden, kann das Tragen eines Gipskorsetts hilfreich sein. Dieses wird für einige Monate durchgehend getragen. Wichtig dabei sind begleitende Übungen zur Stärkung der Bauchmuskulatur und zur besseren Dehnung der ischiokruralen Muskulatur. Mithilfe dieser Methode konnten Steiner et al. in ihrer Studie bei 78% der Patienten gute Ergebnisse, die sich in einer Schmerzreduktion und Steigerung der körperlichen Aktivität zeigten, erzielen. Bei 12 von 67 Personen (18%) konnte sogar eine Heilung des Parsdefektes erreicht werden (31).

Auch Erwachsene können von konservativen Therapieoptionen profitieren. Dabei steht wie bei den jüngeren Patienten auch die Kräftigung der Rücken- und Bauchmuskulatur an erster Stelle, um eine Stabilisierung des Körpers und Reduzierung der Lumballordose zu ermöglichen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass mehr isometrische Übungen oder Beugeübungen durchgeführt werden, da diese wirkungsvoller als reine Extensionsübungen sind.

Neben einer intensiven Krankengymnastik können Anwendungen aus der physikalischen Therapie (z. B.: Wärme, Kälte, Ultraschall) ebenfalls zu einer kurzfristigen Besserung führen. Die Einnahme von Paracetamol und nicht – steroidalen Antirheumatika (NSAR) kann ebenso schmerzlindernd wirken. Wird die gewünschte Schmerzreduktion mit den bisher erwähnten Methoden nicht erreicht, können epidural gesetzte Steroidinjektionen eventuell zielführend sein. Bisher liegen noch keine Studienergebnisse vor, die den Nutzen dieser Behandlung bei alleinigen

Spondylolisthesen beweisen, dennoch scheint es bei Patienten mit vorhandener Radikulopathie Wirkung zu zeigen (1).

### 1.4.5 Operative Therapie

Kommt es unter den konservativen Therapiemöglichkeiten zu keiner Besserung oder der körperliche Zustand verschlechtert sich dramatisch (z. B.: durch das Auftreten eines Cauda Equina Syndroms), sollte ein operatives Vorgehen in Form einer Spondylodese herangezogen werden. Dabei werden verschiedene Operationstechniken unterschieden (32).

Die alleinige **Dekompression ohne Fusion und Instrumentation** ist eine Option, die bei Patienten mit Radikulopathie und/oder Claudicatio – Symptomatik erfolgreich sein kann. Es sollte darauf geachtet werden, dass eine ausreichende Stabilität der zu versorgenden Wirbelsegmente vorhanden ist (1). Man unterscheidet dabei einseitiges von zweiseitigem Vorgehen. Durch Unterschneiden von einer Seite kann man auch die Gegenseite mit dekomprimieren („Undercutting“, „over-the-top“) (33). Zudem geht die Tendenz zu schonenden Verfahren wie der Laminotomie. Dabei werden hypertrophe Facettengelenksanteile, das Lig. flavum und Anteile der angrenzenden Lamina vertebrae reseziert. Dies kann offen, mikroskopisch assistiert oder sogar endoskopisch erfolgen (34,35). Hauptziel ist dabei die Dekompression der Nervenwurzel, meist bei einer reinen Spinalkanalstenose, zur Beseitigung einer Claudicatio spinalis und einer Radikulopathie. Steht jedoch der Rückenschmerz, mit fortgeschrittenem Verschleiß einer oder sogar mehrerer Bandscheiben im Vordergrund, reicht eine alleinige Dekompression nicht mehr aus.

Diese Operationstechnik wurde daher weiter modifiziert und wird heute in Kombination mit Fusion und Instrumentation eingesetzt. Hierfür gibt es verschiedene Varianten: die posterolaterale Fusion, die posteriore/ transforaminale interkorporale lumbale Fusion (PLIF/ TLIF) und die dorsoventrale Fusion.

Bei der **posterolateralen Fusion** wird autologes kortikospongiöses Gewebe aus dem hinteren Beckenkamm entnommen. Dieses wird an der Stelle der Wirbelbögen und Querfortsätze angebracht, bei denen zuvor die Kortikalis entfernt wurde. Dadurch kann eine Fusion der dorsalen Wirbelsäulenanteile ohne Beteiligung der Bandscheibe



gewährleistet werden. Zur weiteren Stabilisierung werden die betroffenen Wirbelsegmente mit einem Fixateur intern fixiert.

Die am häufigsten angewandte Technik ist jedoch die **posteriore** bzw. **transforaminale interkorporale lumbale Fusion (PLIF/ TLIF)**. Bei der PLIF wird zuerst eine Laminektomie und Facettektomie durchgeführt, um anschließend die Bandscheibenreste zu entfernen. Danach wird in den Zwischenwirbelraum wieder autologer Knochen und/oder ein Cage eingebaut (36). Diese eingebauten Cages können als Titan- oder Carbonfaserkörbchen (PEEK) verwendet werden. Diese werden zur Verbesserung der Fusion mit spongiösem autologen oder autogenen Knochen gefüllt (37). Während bei der PLIF die Bandscheibe von dorsal entfernt wird, wird der Zwischenwirbelraum bei der TLIF von lateral eröffnet. Aufgrund dessen, dass dabei nur ein Wirbelgelenk reseziert wird, bleibt der Spinalkanal geschlossen und der Bandapparat erhalten. Dadurch kann das Auftreten einer epiduralen Narbenbildung und einer postoperativen Instabilität reduziert werden (1).

Auch bei diesen Fusionsmethoden wird mithilfe eines Pedikelschraubensystems eine Festigung des betroffenen Wirbelsegments durchgeführt, um die Entstehung einer Pseudarthrose zu minimieren.

Die **dorsoventrale Fusion** ist eine Kombination aus dorsaler Stabilisierung des defekten Wirbelsäulenabschnitts und ventralem Einbau von Cages oder Knochenspänen in den Zwischenwirbelraum. Nach der dorsalen Fixierung, wird je nach Lokalisation der Instabilität, der retroperitoneale mikrochirurgische Zugang oder der transperitoneale mikrochirurgische Zugang für die anteriore lumbale interkorporale Fusion (ALIF) verwendet. Neuere Zugangsmethoden sind auch in Seitlage beschrieben (XLIF, OLIF). Mittels minimalinvasiver Technik werden 2/3 der Bandscheibe entfernt und die Boden- und Deckplatten dekortiziert. Um eine gute Fusion zu erreichen, werden die von ventral eingebrachten Cages mit autologer Spongiosa versehen und der Bandscheibenraum zusätzlich mit demselben Material gefüllt (33,36).

Mögliche Komplikationen können unter anderem die Entwicklung von Pseudarthrosen (8-40%), eine falsche oder schlechte Positionierung der Pedikelschrauben (bis 40%), Infektionen, Implantatbrüche oder – lockerungen, sowie ein fortschreitendes Gleiten des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts darstellen (36). Zu den langfristigen Folgen bei Fusionen mit Instrumentation wird die Adjacent segment disease (ASD) gezählt.

Dabei handelt es sich um eine Degeneration der benachbarten Segmente. Aufgrund verschiedenster Faktoren (Instrumentation, lange Fusionsstrecke, bereits vorhandene Pathologien der Nachbarsegmente, Alter), können biomechanisch veränderte Prozesse, zu diesem Krankheitsbild führen (38). Ein weiterer wichtiger Grund für die Entstehung der ASD ist eine fehlende Sagittale Balance. Dadurch sind die Nachbarsegmente mehr Stress ausgesetzt, besonders der hintere Anteil der Wirbelsäule ist von der gesteigerten Belastung stark betroffen, weshalb es früher oder später zu einer Anschlussinstabilität kommen kann (39).

Besonders bei den interkorporalen Fusionen können neurologische Komplikationen, zum Beispiel in Form von Nervenwurzelverletzungen, auftreten (36). Vaskuläre Probleme (Verletzung großer Gefäße, Bildung von Thrombosen, Entwicklung einer Lungenembolie etc.) können sich auch eventuell zeigen (24).

### **1.5 Zielsetzung der Arbeit**

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, ob die Sagittale Balance nach lumbaler Spondylodese wieder erreicht werden konnte und dadurch auch die Patientenzufriedenheit positiv beeinflusst wurde.

## **2 Methodik**

### **2.1 Studiendesign**

In dieser klinisch retrospektiven Studie wurden 71 Patienten nachuntersucht, bei denen im Zeitraum von 2008 bis 2013 eine Spondylodese in der orthopädischen Abteilung der Asklepios Klinik Bad Abbach durchgeführt wurde.

Die Teilnahme an dieser Nachuntersuchung basierte auf freiwilliger Basis. Die Probanden wurden dafür vorab telefonisch kontaktiert und erhielten zusätzlich ein Erinnerungsschreiben für den vereinbarten Termin. Zur weiteren Bestätigung wurden die Patienten gebeten, sowohl ein Aufklärungs- als auch ein Einwilligungsschreiben zur Teilnahme an dieser Studie zu unterzeichnen.

Um den Datenschutz der Patienten zu wahren, wurden alle gewonnenen Daten der Probanden mittels einer Identifikationsnummer verschlüsselt.

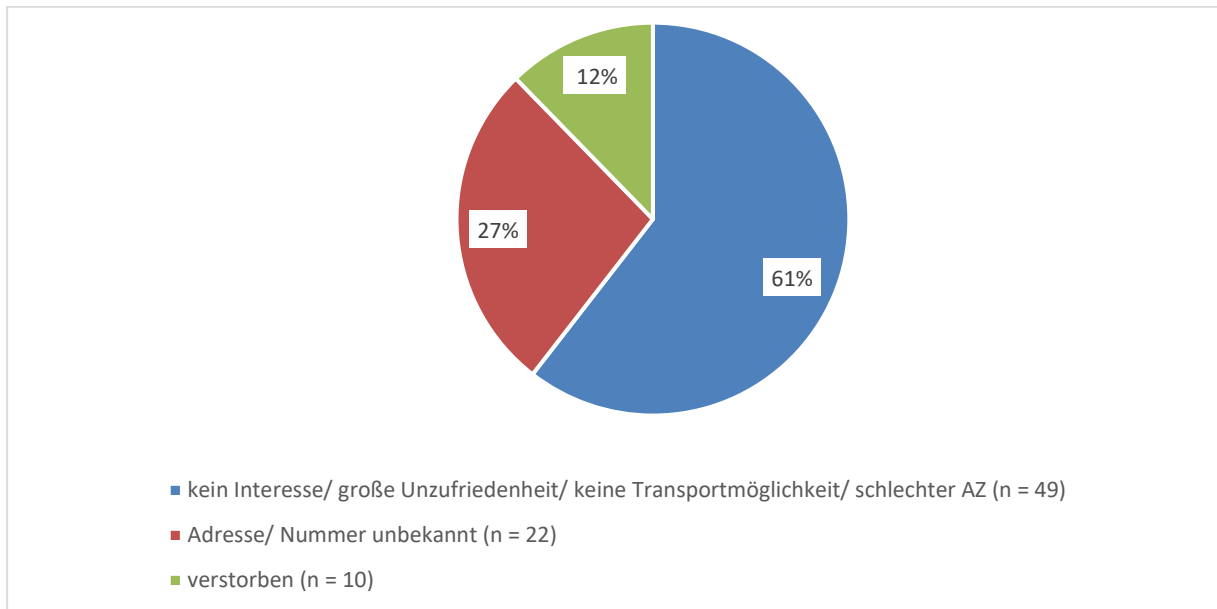
Um diese Studie auch durchführen zu können, wurde vorher ein Votum der ortsansässigen Ethikkommission eingeholt (Ausstellungsdatum 09.05.2014; Geschäftszeichen: 14-101-0130).

### **2.2 Patientenkollektiv und Einschluss- /Ausschlusskriterien**

Das gesamte Patientenkollektiv zählte 174 Personen, die damals operiert wurden. Einschlusskriterium dieser Studie war lediglich eine lumbale Fusion im Zeitraum 2008 bis 2013. Patienten, die eine angeborene Skoliose oder maligne Tumorerkrankungen aufwiesen, wurden von der Studie ausgeschlossen. Aufgrund der Ausschlusskriterien verringerte sich die Patientenanzahl von anfangs 174 auf 152 Personen.

Diese 152 Probanden wurden, wie bereits erwähnt, telefonisch kontaktiert und gefragt, ob Interesse an der Teilnahme dieser Studie bestünde. Dabei kam es zu einem weiteren Drop-out von insgesamt 81 Personen. Gründe dafür waren zum einen kein Interesse/ große Unzufriedenheit/ keine Transportmöglichkeit/ schlechter Allgemeinzustand (n = 49), zum anderen waren die vorhandenen Adressen und Telefonnummern nicht aktuell (n = 22) oder die jeweiligen Patienten waren bereits

verstorben ( $n = 10$ ), (vgl. Abb. 2). Von den 49 Probanden erklärten sich 20 dazu bereit, einen Fragebogen zum Thema Schmerzen auszufüllen, wobei davon 11 beantwortet zurückgeschickt wurden.



**Abbildung 2: Drop – out mit Angaben des Grundes in absoluten und prozentualen Zahlen ( $n = 81$ )**

## 2.3 Inhalte der Nachuntersuchung

### 2.3.1 Fragebögen

Mit 71 von den 152 Patienten konnte ein Termin zur Nachuntersuchung vereinbart werden. Bereits im Vorhinein wurde den Probanden ein Fragebogen nach Hause zugeschickt. Dieser umfasste Fragen bezüglich der Schmerzsituation vor und nach der letzten Operation (unter anderem mit Hilfe der Numerischen Ratingskala Schmerz NRS), die aktuelle Schmerzmedikation, weitere Erkrankungen sowie die Zufriedenheit der Patienten bezüglich des Operationsergebnisses. Bei der **NRS** handelt es sich um eine 11 – Punkte – Skala, auf der die Schmerzstärke in Zahlen von 0 (keine Schmerzen) bis 10 (schlimmste Schmerzen) angegeben werden kann (40). Diese hatten sich in dieser Studie sowohl auf die Rücken- als auch auf die Beinschmerzen bezogen. Um den Einfluss der Schmerzen auf die Psyche zu zeigen, wurden der DASS – Test und der PHQ – 9 – Test in diesen Fragebogen miteinbezogen.

Die **Depressions – Angst – Stress – Skala (DASS)** wird als Hilfsmittel sowohl bei schmerzgeplagten Patienten als auch bei Personen, deren Probleme nicht schmerzbedingt sind, herangezogen, um das Ausmaß einer Belastung mit depressiven, ängstlichen und/oder stressbezogenen Merkmalen zu erkennen.

In dieser Studie wurde die deutschsprachige Kurzfassung verwendet. Sie umfasst 21 Fragen, für jede Skala (Depression – Angst – Stress) gibt es 7 Items, die sich um das persönliche Befinden der letzten Woche drehen. Die jeweiligen Antwortmöglichkeiten (0 – traf **gar nicht** auf mich zu; 1 – traf **manchmal** auf mich zu; 2 – traf **ziemlich oft** auf mich zu; 3 – traf **die meiste Zeit** auf mich zu) sollen wahrheitsgetreu und nur einmalig angekreuzt werden. Diese werden dann den jeweiligen Skalen zugeordnet und addiert. Jede Kategorie hat ihren eigenen Cut – off, der eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen der drei Krankheitsbilder anzeigt. Bei D für Depression liegt er bei 10, bei A für Angst bei 6 und bei S für Stress ebenfalls bei 10 (41).

Ein weiterer psychologischer Test, ist der **Patient Health Questionnaire (PHQ – 9)**. Der PHQ – 9 – Test beinhaltet 9 Fragen, die eine Beeinträchtigung des persönlichen Befindens durch bestimmte Beschwerden in den letzten 2 Wochen in den Mittelpunkt

stellt. Mithilfe dieser Fragen können Patienten bezüglich Depression besser beurteilt werden. Jedes Item soll einmalig beantwortet werden, wobei es 4 Antwortmöglichkeiten zur Auswahl gibt: 0 – überhaupt nicht; 1 – an einzelnen Tagen; 2 – an mehr als der Hälfte der Tage; 3 – beinahe jeden Tag. Die Summe der addierten Antworten wird dann zur Einteilung in die jeweiligen Schweregrade der Depression hergenommen. Von 0 – 4 Punkten liegt keine oder nur eine minimal depressive Stimmung vor, bei 5 – 9 Punkten eine leichte depressive Störung, bei 10 – 14 Punkten eine mittelgradige Depression, bei 15 – 19 Punkten eine ausgeprägte Depression und bei 20 – 27 Punkten eine schwere Depression.

Am Ende der 9 Items werden die Patienten noch gefragt, wie sehr die jeweiligen Probleme ihren Alltag erschweren (0 – überhaupt nicht erschwert; 1 – etwas erschwert; 2 – stark erschwert; 3 – extrem erschwert) (42).

Der **Roland Morris** Test stellt einen weiteren Teil des Fragebogens dar. Er umfasst 24 Items, die sich auf Einschränkungen verschiedenster Aktivitäten aufgrund bestehender Rückenschmerzen im Alltag beziehen. Die Patienten sollen die Fragen nach ihrem aktuellen Befinden ausfüllen, danach werden die ausgewählten Antworten zusammengezählt. Je höher die Summe ausfällt, desto stärker ist die Einschränkung (0 – keine Einschränkung; 24 – maximale Einschränkung) (43).

Es ist keine Seltenheit, dass die Lebensqualität der betroffenen Wirbelsäulenpatienten unter den vorhandenen Schmerzen beträchtlich leidet. Um den Einfluss von Rückenschmerzen auf die Lebensqualität zu erfassen, wurde der **Oswestry Disability Index (ODI)** eingesetzt. Der ODI umfasst 10 Fragen mit jeweils 6 Antwortmöglichkeiten (von 0 – 5), die sich um die Schmerzstärke und alltägliche Fertigkeiten handeln (Körperpflege, Heben, Gehen, Sitzen, Stehen, Schlafen, Sexualleben, Sozialleben, Reisen). Sind alle Antwortmöglichkeiten einmalig angekreuzt, werden die Punkte addiert. Die Formel zur Berechnung des ODI lautet:  $(\text{Gesamtpunktzahl der beantworteten Fragen} / \text{maximal mögliche Punktzahl}) \times 100\%$ . Daraus ergibt sich eine Prozentzahl, nach der die Patienten in folgende Einteilung gegliedert werden: 0 – 20%: minimale Behinderung; 21 – 40%: mäßige Behinderung; 41 – 60%: starke Behinderung; 61 – 80%: invalidisierend; 81 – 100%: bettlägerig (44).

### **2.3.2 Ausmessung von Röntgenbildern mittels Surgimap**

Ein weiterer wichtiger Bestandteil dieser Studie war die Bemessung von Röntgenbildern der jeweiligen Probanden. Dabei wurden, falls vorhanden, prä-, intra- und postoperative Aufnahmen ausgemessen. Die Röntgenbilder der Patienten, die vor 2012 operiert wurden, konnte man aus dem Archiv der Asklepiosklinik in Bad Abbach erhalten, Aufnahmen von später operierten Patienten waren im internen Computersystem der Klinik vorhanden. Die Röntgenbilder, die sich im Archiv befanden, wurden alle einzeln eingescannt (Intelli Scan 1600/ Model No.: xfu 1600; Quatographic Technology GmbH Germany), wobei jede Abbildung zur Kalibrierung mit einem Papierkreis mit einem Durchmesser von 2,5 cm versehen wurde.

Das Patientenkollektiv dieser Studie umfasste Personen, die nur einmalig operiert wurden, aber auch Probanden, bei denen aufgrund einer Anschlussinstabilität mehrmals eine Operation durchgeführt wurde. Um einen besseren Vergleich ziehen zu können, wurden daher alle präoperativen Röntgenaufnahmen ausgehend vom nicht operierten Zustand gemessen. Die verwendeten postoperativen Bilder bezogen sich jeweils auf die letzte durchgeführte Operation. Dabei wurden zwei unterschiedliche postoperative Aufnahmen gemessen: zum einen kurz nach der Operation und zum anderen eine spätere Abbildung. Hierbei handelte es sich im Gegensatz zu den prä- und den ersten postoperativen Aufnahmen um Ganzkörperwirbelsäulenaufnahmen. Die Röntgenbilder vor und kurz nach der Operation waren lediglich Abbildungen der Lendenwirbelsäule mit Darstellung der Hüftköpfe.

Zu der Gesamtheit der gemessenen Röntgenbilder zählten sowohl die einbestellten Probanden als auch Patienten, die nur den Fragebogen ausgefüllt zurückgeschickt hatten.

Alle verwendeten Röntgenaufnahmen wurden anschließend mithilfe des Computerprogramms „SurgimapSpine“ (<http://www.surgimap.com>; NemarisInc, New York, NY; Version 2.1.2) ausgemessen. SurgimapSpine ist eine frei verfügbare Software, die verschiedenste Messmethoden zur Berechnung und Planung von Osteotomien zur Verfügung stellt. Anhand dieses Programms kann durch Bemessung der spinopelvinen Parameter der Zustand des globalen Sagittalen Alignments erfasst und gegebenenfalls korrigiert werden (45).

Ziel dieser Studie war es, herauszufinden, ob die globale Sagittale Balance nach der Operation wieder erreicht wurde und wie sich dies auf die Zufriedenheit der Patienten auswirkte. Daher waren insbesondere die spinopelvinen Parameter von entscheidender Bedeutung. Mithilfe der Software „SurgimapSpine“ konnten folgende Werte problemlos gemessen werden: Sacral Slope (SS), Pelvic Tilt (PT), Pelvic Incidence (PI), Thorakale Kyphose (TK) und die lumbale Lordose (L1 – S1; L4 – S1; L1 – L4).

Die pelvinen Parameter (PI; PT; SS) konnten anhand einer Messmethode („Pelvic Parameters“) gleichzeitig berechnet werden. Dafür wurden die superiore Endplatte des Wirbelkörpers S1 (von ventral nach dorsal) und der Umfang der Hüftköpfe gemessen. Das Programm errechnete anschließend automatisch die gewünschten Werte, indem es die jeweiligen Verbindungslinien zog. Diese Messwerte wurden in allen vorhandenen Röntgenaufnahmen (prä-, post- und GKWS) gemessen.

Mithilfe der Funktion „Lumbar Lordosis“ konnte dementsprechend der Winkel der Lumbalen Lordose (L1 – S1) errechnet werden. Dabei wurde zuerst eine Linie entlang der S1 – Deckplatte und dann entlang der L1 – Deckplatte, auch jeweils von ventral nach dorsal gezogen. Daraus ergab sich der Winkel der Lumbalen Lordose.

Wie bereits weiter oben erwähnt, kann die Lumbale Lordose nochmals in zwei Teile unterteilt werden: L1 – L4 und L4 – S1. Auch diese Werte standen im Interesse dieser Studie und wurden mit der Funktion „Angle“ gemessen. Um den Winkel für L1 – L4 zu erhalten, wurde eine Linie von ventral nach dorsal sowohl entlang der L1 – Deckplatte als auch an der L4 – Endplatte gelegt. Für den Wert von L4 – S1 wurde dementsprechend eine Linie von ventral nach dorsal entlang der L4 – Deckplatte und der S1 – Deckplatte gezogen. Alle lumbalen Winkelmessungen (L1 – S1, L1 – L4, L4 – S1) wurden ebenfalls in prä-, post- und GKWS – Aufnahmen gemessen, mit Ausnahme der Patienten, die eine Fraktur aufwiesen.

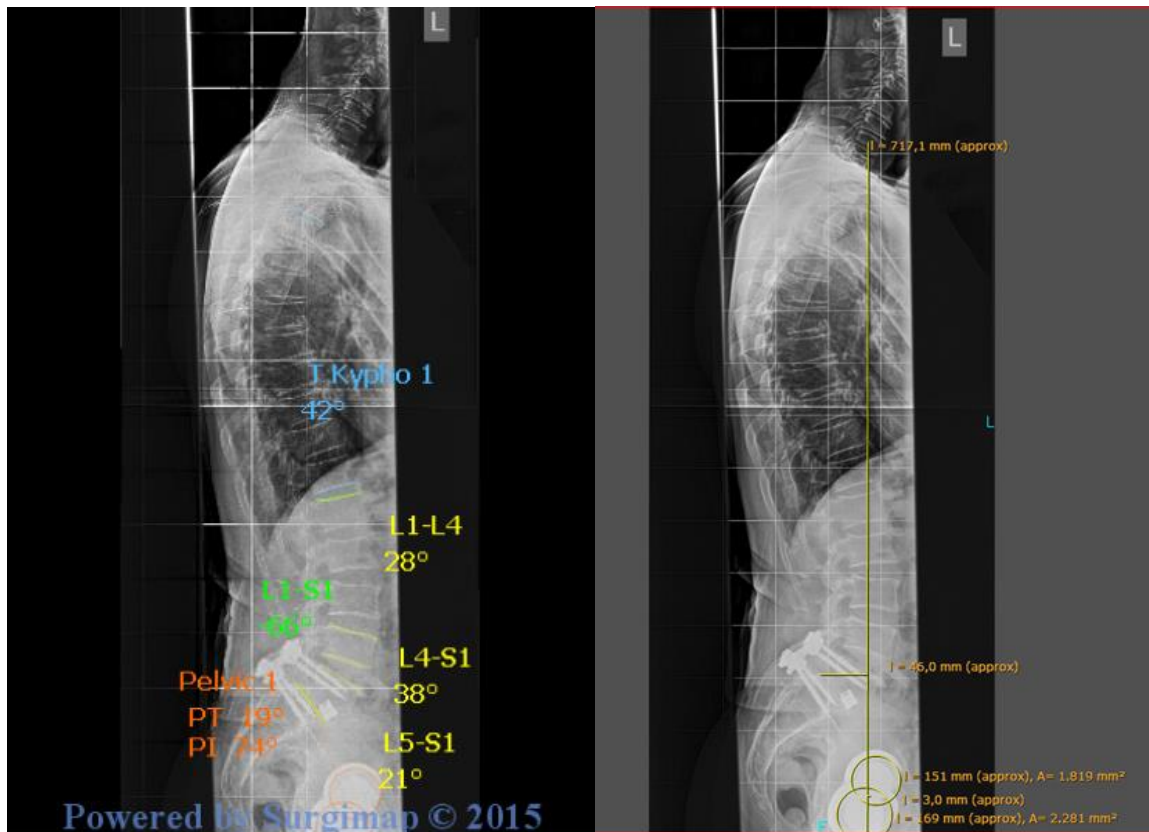
Einen weiteren Parameter, der hauptsächlich in den Ganzkörperwirbelsäulenaufnahmen berechnet wurde, stellte die Thorakale Kyphose (TK) dar. Dabei handelt es sich um einen Winkel zwischen der Deckplatte von Th4 und der Endplatte von Th12. Die Bemessung dieses Wertes erfolgt in ähnlicher Weise wie die vorherigen Winkelmessungen: Man zieht eine Linie von ventral nach dorsal entlang der Th12 – Endplatte und eine zweite entlang der Th4 – Deckplatte.



Neben den bereits beschriebenen lumbalen und pelvinen Parametern, wurden zusätzliche Werte, die sich aus den intraoperativen Bildern ergaben, mithilfe „SurgimapSpine“ in allen Röntgenaufnahmen gemessen. Dabei wurden, falls diese im intraoperativen Bild abgebildet waren, der Winkel von L4 auf S1 sowie der Winkel der versteiften Segmente mit derselben Messmethode anhand der Funktion „Angle“ errechnet.

Für die grobe Beurteilung der globalen Sagittalen Balance wurde die Sagittal Vertical Axis (SVA) in der sagittalen Ansicht der Ganzkörperwirbelsäulenaufnahmen gemessen. Diesen Messwert konnte man jedoch aufgrund fehlender Kalibrierung nicht mit der Software „SurgimapSpine“ erhalten, weshalb dieser mithilfe des internen Bildbetrachtungsprogramms („Xero Viewer“ und „IMPAX FX AgfaHealthCare“) der Asklepiosklinik in Bad Abbach gemessen wurde. Dabei wurde ein Lot ausgehend vom Zentrum des Wirbelkörpers C7 bis zu den Hüftköpfen gelegt. Der Abstand (in mm) von der Hinterkante S1 bis zur senkrecht gezogenen Linie ergab die SVA. Lag diese vor der Hinterkante S1, erhielt man einen positiven Wert, befand sie sich jedoch dahinter, fiel der Wert negativ aus. Zusätzlich wurde der Abstand ausgehend vom Zentrum der Hüftköpfe zum Lot gemessen. Dabei fielen die Werte, je nach Lokalisation des Lots, positiv oder negativ aus (befindet sich das Lot hinter den Hüftköpfen, ergibt sich ein negativer Wert; liegt das Lot jedoch vor den Hüftköpfen, ergibt sich ein positiver Wert).

Alle erhobenen Daten der Röntgenbilder wurden doppelt vermessen und der Mittelwert daraus berechnet. Diese wurden anschließend in bereits vorgefertigte Excel-Tabellen übertragen.



**Abbildung 3:** Surgimap Ausmessung der spinopelvinen Parameter (links) und SVA Ausmessung (rechts) am selben Patienten

### 2.3.3 Methoden der Oberflächenmessungen

Neben der Erfassung der spinopelvinen Parameter anhand der Röntgenbilder und Eruierung der Patientenzufriedenheit anhand vorgefertigter Fragebögen, wurden zusätzlich zwei unterschiedliche Methoden zur Messung der Rückenoberfläche durchgeführt. Beide Geräte konstruieren ohne Strahlenbelastung ein dreidimensionales Bild der Wirbelsäule. Die daraus erhobenen Daten wurden mit den Messwerten der Röntgenbilder verglichen, um herauszufinden, ob diese Messmethoden mögliche Alternativen zum Röntgen darstellen.

### 2.3.4 Körperliche Untersuchung

Diese Studie beinhaltete unter anderem auch eine körperliche Untersuchung der Probanden. Dabei wurde nach der **aktuellen Schmerzausstrahlung** gefragt, wobei diese als radikuläre und/oder pseudoradikuläre Schmerzen dokumentiert wurden. Desweiteren stellte das Vorhandensein einer **Hyposensibilität** und/oder **Kribbelparästhesien**, die sich entweder entlang bestimmter Dermatome zeigten oder nicht dermatombezogen auftraten, einen weiteren Punkt der klinischen Untersuchung dar. Vorhandene Schwächen der unteren Extremität wurden in der Kategorie „**Paresen**“ erfasst und in Kraftgraden angegeben. Die **Beweglichkeit der Hüftgelenke** (Extension/ Flexion; Abduktion/ Adduktion; Außenrotation/ Innenrotation) wurde mithilfe der Neutral – Null – Methode bestimmt und in Gradzahlen angegeben. Sowohl die Hüftgelenksbeweglichkeit als auch alle vorerst beschriebenen Untersuchungspunkte wurden bei Probanden, die Hüft- bzw. Kniebeschwerden hatten (z. B.: wegen Arthrose), nicht gewertet.

Neben den bereits erwähnten Kategorien, standen die mögliche **Gehstrecke** und eine eventuell vorhandene **Claudicatio – Symptomatik** im Interesse dieser Studie. Dabei wurde die weiteste Gehstrecke (in Meter), die ohne Pause erreicht werden konnte, sowohl mit als auch ohne Hilfsmittel (z. B.: Rollator/ Krücken) ermittelt.

Desweiteren wurden die Probanden nach bestehendem **Druckschmerz** entlang der Wirbelsäule, insbesondere von L1 – L3 und L4 – S1, am Iliosakralgelenk, entlang der paravertebralen Muskulatur, der Leisten und der Trochanteren gefragt.

Zur körperlichen Untersuchung zählte auch die Erfassung des **Finger – Boden – Abstandes**, die Auslösung des **Reklinationsschmerzes**, sowie der **Fersen – und Zehenspitzenengang**.

Weitere wichtige Bestandteile, die in der klinischen Untersuchung ebenfalls ermittelt wurden, waren die **Anzahl der versteiften Etagen** (Ein – Etagen – Fusion; Zwei – Etagen – Fusion; Drei – Etagen – Fusion; mehr als Drei – Etagen) und ob bei der Operation **zementierte Schrauben** verwendet wurden oder nicht.

## **2.4 Statistik**

Im Rahmen dieser Studie wurden die ermittelten Daten mithilfe verschiedener statistischer Testverfahren untersucht und ausgewertet. Im Folgenden soll auf die Anwendung der (einfachen) linearen Regressionsanalyse, des t – Tests bei unabhängigen Stichproben, dem Mann – Whitney – U – Tests und dem Chi – Quadrat – Tests eingegangen werden. Das Signifikanzniveau dieser Studie wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

Zur statistischen Auswertung wurde das Programm SPSS Statistics Version 23 von IBM® verwendet.

### **2.4.1 (Einfache) Lineare Regression/ Regressionsanalyse**

Mithilfe der linearen Regressionsanalyse kann die Beziehung zwischen einer abhängigen Variable und einer oder mehreren unabhängigen Variablen beschrieben werden.

Bei der einfachen linearen Regression wird versucht, die abhängige Variable mithilfe einer unabhängigen Variable zu prognostizieren. Je größer der lineare Zusammenhang zwischen der unabhängigen und der abhängigen Variable ist, desto genauer ist die Vorhersage. Anhand eines Streudiagramms kann der Zusammenhang zwischen den Variablen visuell dargestellt werden. Die Datenpunkte liegen umso enger auf einer Geraden, je größer die Korrelation der jeweiligen zu untersuchenden Variablen ist (46).

### **2.4.2 T – Test bei unabhängigen Stichproben**

T – Tests gehören zu der Kategorie Lagetests. Eine Variante davon ist der t – Test bei unabhängigen bzw. unverbundenen Stichproben.

Möchte man untersuchen, ob sich zwei unabhängige Stichproben hinsichtlich des Mittelwertes einer Zielvariable unterscheiden, kann dieser Test herangezogen werden. Eine Normalverteilung der Daten sowie gleiche Varianzen sollten dabei vorliegen (46).

### **2.4.3 Mann – Whitney – U – Test**

Möchte man untersuchen, ob es einen Unterschied zwischen zwei Gruppen gibt und die Variablen nicht normalverteilt sind, kann der Mann – Whitney – U – Test verwendet werden. Dieser zählt zu der Kategorie der Rangsummentests und ist das nichtparametrische Gegenstück zum unabhängigen t – Test. Lediglich das Vorhandensein von zwei unabhängigen Stichproben mit ordinalskalierten Merkmalen ist für die Nutzung des Tests notwendig (46).

### **2.4.4 Chi – Quadrat – Test (Kreuztabellen)**

Der Chi – Quadrat – Test ist ein Hypothesentest, der bei nominal oder ordinal skalierten Variablen angewandt wird. Anhand des Chi – Quadrat – Tests kann geprüft werden, ob ein Zusammenhang zwischen zwei kategorischen Variablen besteht (46).

## **3 Ergebnisse**

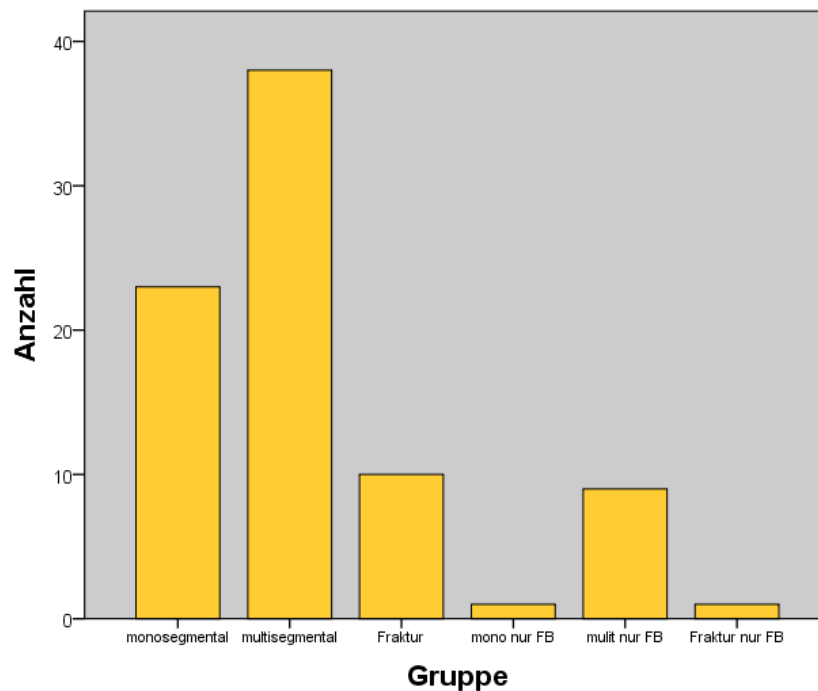
### **3.1 Anthropometrische Daten des Patientenkollektivs**

#### **3.1.1 Gruppenzuordnung**

Wie bereits im Methodenteil erwähnt, wurden 71 Patienten nachuntersucht. Von 11 weiteren Patienten erhielten wir einen vollständig ausgefüllten Fragebogen zurück. Daraus ergibt sich eine Gesamtzahl von 82 gültigen Patientendaten. Diese Gesamtzahl kann jedoch variieren, da die notwendigen Werte zur Berechnung der gewünschten Fragestellungen nicht bei allen Patienten vorhanden sind.

Die Patienten wurden nach der Anzahl ihrer versteiften Segmente in Gruppen gegliedert. Dabei werden folgende Gruppen unterschieden: monosegmental, multisegmental und Fraktur, sowie monosegmental FB (= Fragebogen), multisegmental FB und Fraktur FB. Da die Fallzahlen bei monosegmental FB und Fraktur FB sehr gering ausgefallen sind, wurden diese bei weiteren statistischen Auswertungen rausgenommen.

Von der Gesamtheit der Patienten ( $n = 82$ ) wurde bei 23 Personen (28,0%) eine Etage und bei 38 Personen (46,3%) mehrere Etagen versteift. Bei 10 Probanden (12,2%) war eine Fraktur der Grund für die Operation. Bei reinen Fragebogen – Patienten erkennt man, dass 9 (11,0%) Patienten multisegmental versteift wurden, für monosegmental und frakturbedingt wurde jedoch nur 1 Person (1,2%) gezählt (vgl. Abbildung 4).



**Abbildung 4: Anzahl der Probanden der jeweiligen Gruppen**

### 3.1.2 Geschlecht

Das Kollektiv setzt sich aus 48 Frauen (58,5%) und 34 Männern (41,5%) zusammen. Die Gruppe „monosegmental“ umfasst 14 weibliche ( $60,9\% = 14/23$ ) und 9 männliche ( $39,1\% = 9/23$ ) Teilnehmer, während die Gruppe „multisegmental“ aus 21 Patientinnen ( $55,3\% = 21/38$ ) und 17 Patienten ( $44,7\% = 17/38$ ) besteht. Die Gruppe „Fraktur“ enthält 7 weibliche Probanden ( $70\% = 7/10$ ) und 3 männliche Probanden ( $30\% = 3/10$ ). Bei „monosegmental FB“ findet sich nur ein Mann, bei „Fraktur FB“ nur eine Frau. In der Gruppe „multisegmental FB“ zählt man 5 Frauen ( $55,6\% = 5/9$ ) und 4 Männer ( $44,4\% = 4/9$ ). Ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Geschlechtsverteilung innerhalb der Untergruppen blieb dabei aus ( $p = 0,851$ ).

Gruppe			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
monosegmental	Gültig	weiblich	14	60,9	60,9	60,9
		männlich	9	39,1	39,1	100,0
		Gesamt	23	100,0	100,0	
multisegmental	Gültig	weiblich	21	55,3	55,3	55,3
		männlich	17	44,7	44,7	100,0
		Gesamt	38	100,0	100,0	
Fraktur	Gültig	weiblich	7	70,0	70,0	70,0
		männlich	3	30,0	30,0	100,0
		Gesamt	10	100,0	100,0	
mono nur FB	Gültig	männlich	1	100,0	100,0	100,0
multi nur FB	Gültig	weiblich	5	55,6	55,6	55,6
		männlich	4	44,4	44,4	100,0
		Gesamt	9	100,0	100,0	
Fraktur nur FB	Gültig	weiblich	1	100,0	100,0	100,0

**Tabelle 1: Geschlechterverteilung**

### 3.1.3 Alter

Das Alter der Studienteilnehmer lag im Durchschnitt bei 62,56 Jahren (SD: 14,877).

Der jüngste Teilnehmer war 17, der älteste 81 Jahre.

Der Altersdurchschnitt in den Untergruppen liegt in der Gruppe „monosegmental“ bei 52,78 Jahren (SD:  $\pm 17,117$ ), in der Gruppe „multisegmental“ bei 66,26 Jahren (SD:  $\pm 9,437$ ), in der Gruppe „Fraktur“ bei 69,50 Jahren (SD:  $\pm 16,847$ ) und in der Gruppe „multisegmental FB“ bei 64,22 Jahren (SD:  $\pm 15,569$ ). Dabei ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den aufgelisteten Gruppen ( $p = 0,001$ ). Werden die einzelnen Gruppen näher betrachtet, erkennt man, dass sich insbesondere zwischen den Gruppen „monosegmental“, „multisegmental“ und „Fraktur“ die Mittelwerte signifikant unterscheiden (vgl. Tabelle 2: „Mehrfachvergleiche“ und Abbildung 5).

Aufgrund der kleinen Fallzahlen der Gruppen „monosegmental FB“ und „Fraktur FB“ wurden diese aus den restlichen Berechnungen rausgenommen.



(I) Gruppe			Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
<b>Scheffé- Prozedur</b>	monoseg.	multisegmental	-13,481*	3,618	,005	-23,83	-3,13
		Fraktur	-16,717*	5,188	,020	-31,55	-1,88
		multi nur FB	-11,440	5,385	,220	-26,84	3,96
	multiseg.	monosegmental	13,481*	3,618	,005	3,13	23,83
		Fraktur	-3,237	4,868	,931	-17,15	10,68
		multi nur FB	2,041	5,077	,983	-12,48	16,56
	Fraktur	monosegmental	16,717*	5,188	,020	1,88	31,55
		multiseg.	3,237	4,868	,931	-10,68	17,15
		multi nur FB	5,278	6,293	,872	-12,72	23,27
	multi nur FB	monosegmental	11,440	5,385	,220	-3,96	26,84
		multisegmental	-2,041	5,077	,983	-16,56	12,48
		Fraktur	-5,278	6,293	,872	-23,27	12,72
<b>Bonferroni</b>	monoseg.	multisegmental	-13,481*	3,618	,002	-23,28	-3,68
		Fraktur	-16,717*	5,188	,011	-30,77	-2,66
		multi nur FB	-11,440	5,385	,221	-26,03	3,15
	multiseg	monosegmental	13,481*	3,618	,002	3,68	23,28
		Fraktur	-3,237	4,868	1,000	-16,42	9,95
		multi nur FB	2,041	5,077	1,000	-11,71	15,80
	Fraktur	monosegmental	16,717*	5,188	,011	2,66	30,77
		multisegmental	3,237	4,868	1,000	-9,95	16,42
		multi nur FB	5,278	6,293	1,000	-11,77	22,33
	multi nur FB	monosegmental	11,440	5,385	,221	-3,15	26,03
		multisegmental	-2,041	5,077	1,000	-15,80	11,71
		Fraktur	-5,278	6,293	1,000	-22,33	11,77

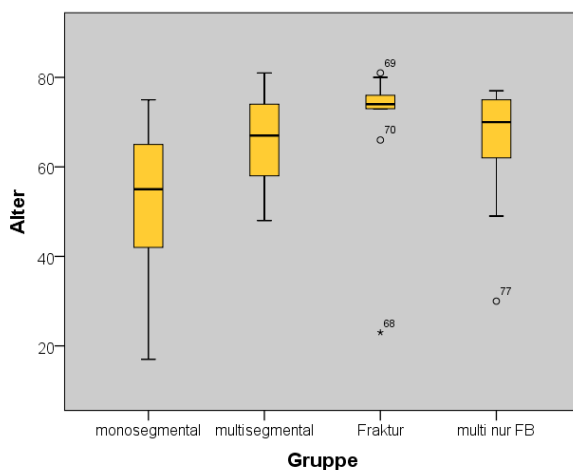
\*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0,05 signifikant.

**Tabelle 2: Mehrfachvergleich bzgl. des Alters zwischen den einzelnen Gruppen**

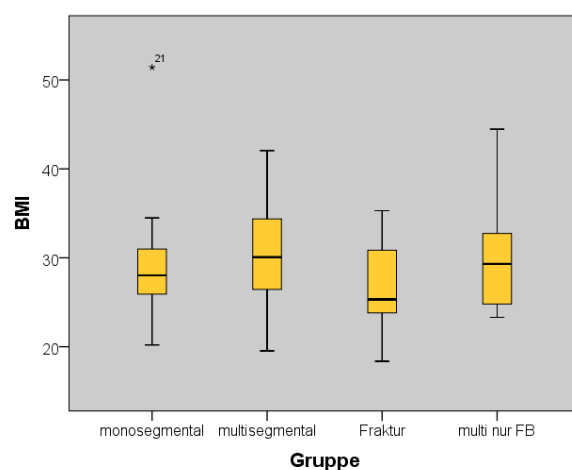
### 3.1.4 Body – Mass – Index (BMI)

Bei einem Durchschnittsgewicht von 83,17 kg (SD:  $\pm 17,538$ ) und einer mittleren Größe von 167,67 cm (SD:  $\pm 10,197$ ) erhält man einen BMI – Mittelwert von 29,62 kg/m<sup>2</sup> (SD:  $\pm 6,020$ ). Die BMI – Werte der Patienten liegen in einem Intervall zwischen 18 kg/m<sup>2</sup> und 51 kg/m<sup>2</sup>.

Bei den jeweiligen Untergruppen zeigen sich folgende BMI – Durchschnittswerte: „monosegmental“ 28,95 kg/m<sup>2</sup> (SD:  $\pm 6,079$ ); „multisegmental“ 30,63 kg/m<sup>2</sup> (SD:  $\pm 5,541$ ); „Fraktur“ 27,16 kg/m<sup>2</sup> (SD:  $\pm 5,490$ ) und „multisegmental FB“ 30,91 kg/m<sup>2</sup> (SD:  $\pm 7,955$ ). Dabei zeigt sich kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,336$ ) (vgl. Abbildung 6).



**Abbildung 5:** Alter bezogen auf die Gruppen



**Abbildung 6:** BMI bezogen auf die Gruppen

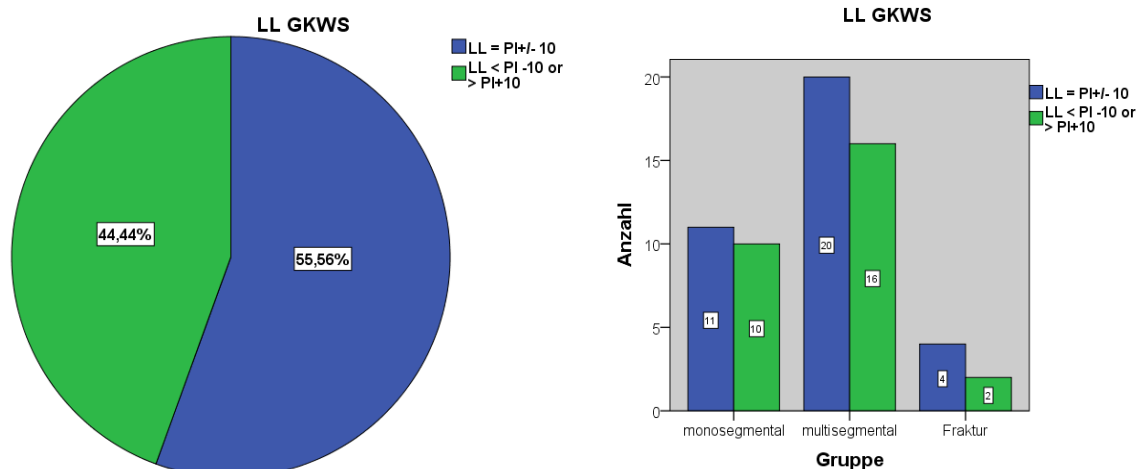
## 3.2 Parameter der Sagittalen Balance

Bereits im ersten Abschnitt dieser Arbeit wurden die Bedeutung der Sagittalen Balance und ihre wichtigsten Parameter ausführlich erläutert. Dabei waren unter anderem das Ausmaß der Lendenlordose sowie die „Sagittal Vertical Axis“ (SVA) entscheidend. Für eine grobe Einschätzung der Lendenlordose konnte die Formel  $LL = PI \pm 10$  herangezogen werden. Im Folgenden soll gezeigt werden, ob sich die Patienten dieser Studie in diesem Intervall befinden oder nicht. Weiters werden die SVA – Werte des Patientenkollektivs beschrieben ( $SVA < 50\text{mm}$  oder  $> 50\text{mm}$ ), um eine grobe Orientierung bezüglich der Sagittalen Balance treffen zu können.

### 3.2.1 Lendenlordose der Ganzkörperwirbelsäulenaufnahmen (LL GKWS)

Auf der linken Seite der Abbildung 7 erkennt man, dass von insgesamt 63 Personen 35 (55,56%) die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllen und 28 (44,44%) Patienten außerhalb dieses Intervalls liegen.

In den jeweiligen Untergruppen können folgende Werte beschrieben werden: in der Gruppe „monosegmental“ sind 52,4% (11/21) innerhalb, 47,6% (10/21) außerhalb von  $PI \pm 10$ . Die Gruppe „multisegmental“ umfasst 55,6% (20/36) die diese Formel erfüllen und 44,4% (16/36) die sie nicht erfüllen. Die Gruppe „Fraktur“ zeichnet sich mit 66,7% (4/6) die innerhalb und mit 33,3% (2/6) die außerhalb des gewünschten Intervalls liegen aus. Dabei zeigte sich innerhalb der Gruppen kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,825$ ).



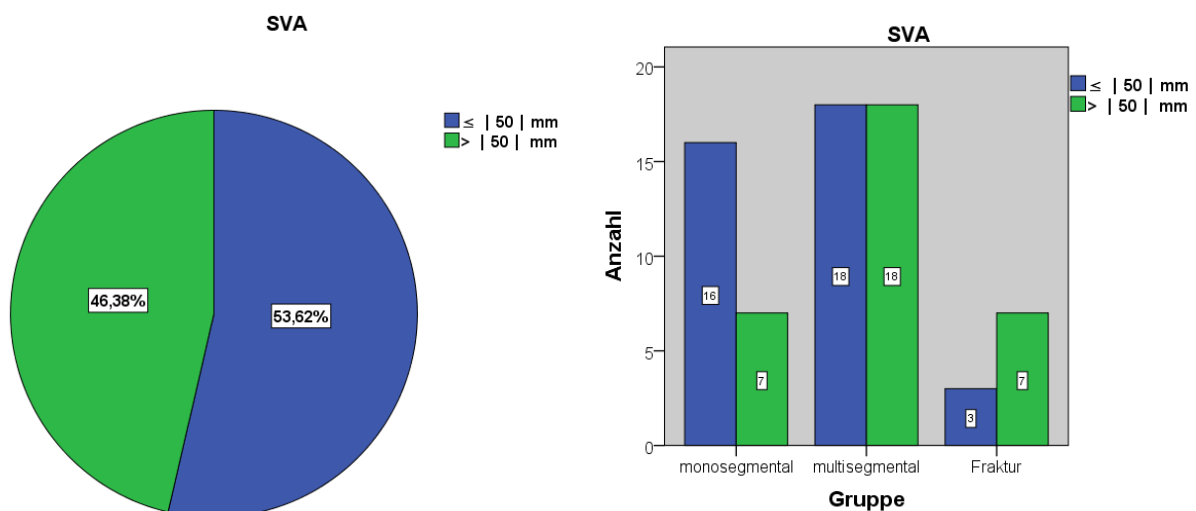
**Abbildung 7:** Gesamtkollektiv innerhalb bzw. außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  in Prozent (links) und im Gruppenvergleich (rechts)

### 3.2.2 Sagittal Vertical Axis (SVA)

Der Abstand zwischen dem Lot, ausgehend vom Zentrum von C7 und der Hinterkante von S1 definiert die SVA. Dieser sollte nicht über 50mm betragen.

In den nächsten Grafiken wird ersichtlich, dass in diesem Patientenkollektiv (n = 69) 37 Probanden (53,6%) eine SVA < 50mm und 32 Probanden (46,4%) eine SVA > 50mm aufweisen.

Bei den Untergruppen zeigen sich folgende Ergebnisse: in der Gruppe „monosegmental“ sind 69,6% (16/23) unter 50mm und 30,4% (7/23) über 50mm. Die Probanden der „multisegmentalen“ Gruppe sind zu 50% (18/36) ober- bzw. unterhalb von 50mm. 30,0% (3/10) der Gruppe „Fraktur“ weisen SVA – Werte < 50mm und 70,0% (7/10) > 50mm. Ein signifikanter Unterschied bezüglich der SVA – Werte innerhalb der Untergruppen konnte nicht nachgewiesen werden (p = 0,091) (vgl. Abbildung 8).



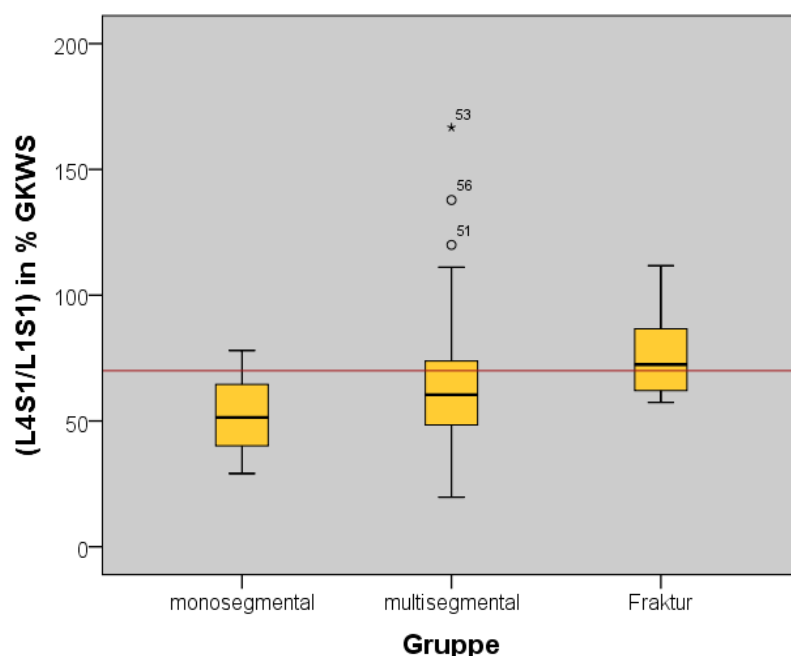
**Abbildung 8:** Gesamtkollektiv bezogen auf SVA in Prozent (links) und im Gruppenvergleich (rechts)

### 3.2.3 Prozentualer Anteil der unteren Lendenlordose an der gesamten Lendenlordose (L4 – S1/L1 – S1 in %)

In der Einleitung habe ich bereits die Studie von Roussouly et al. erwähnt, in der beschrieben wird, dass der untere Abschnitt der Lendenlordose (L4 – S1) optimalerweise 70% der gesamten Lendenlordose aufweisen sollte.

Das unten angeführte Boxplot – Diagramm beschreibt die Lage und Streuung des Anteils von L4 – S1 in % bezogen auf die jeweiligen Gruppen. Die rote Linie kennzeichnet die 70% Grenze.

Die durchschnittlichen Prozentzahlen der jeweiligen Gruppen bei einer Gesamtzahl von  $n = 64$  lassen sich wie folgt angeben: „monosegmental“: 52,78% (Median: 51,41%; SD:  $\pm 14,408$ ); „multisegmental“: 66,33% (Median: 60,43%; SD:  $\pm 30,736$ ) und „Fraktur“: 78,05% (Median: 72,44%; SD:  $\pm 21,889$ ). Ein signifikanter Unterschied ergibt sich dabei jedoch nicht ( $p = 0,057$ ). Sowohl die Daten als auch das Diagramm lassen erkennen, dass sich am ehesten die Gruppen „multisegmental“ und „Fraktur“ an die 70% Grenze annähern.



**Abbildung 9:** Prozentualer Anteil der unteren Lendenlordose an der gesamten Lendenlordose im Gruppenvergleich

### 3.3 Fragebögen

Die Fragebögen wurden in drei Abschnitte gegliedert. Zum einen wurden allgemeine Fragen zum Thema Schmerz und Zufriedenheit gestellt, zum anderen wurde anhand psychologischer Tests untersucht, welche Auswirkungen noch vorhandene Schmerzen auf die Lebensqualität und den Alltag haben. Der dritte Abschnitt bezog sich auf die Ergebnisse der körperlichen Untersuchung.

#### 3.3.1 Allgemeiner Teil (BMI/ Alter/ Geschlecht)

Zunächst stellte sich die Frage, ob ein linearer Zusammenhang zwischen dem BMI/ Alter/ Geschlecht und den Schmerzen besteht. Dabei wurden die Schmerzen anhand der NRS angegeben und in Rücken- und Beinschmerzen unterteilt. Zusätzlich wurden diese sowohl prä- als auch postoperativ betrachtet.

##### 3.3.1.1 Linearer Zusammenhang zwischen BMI und Rückenschmerzen prä- und postoperativ

Betrachtet man die Auswertung der jeweiligen Untergruppen (mono-, multisegmental, Fraktur, multisegmental nur FB), zeigen sich folgende Ergebnisse für den präoperativen Zeitpunkt:

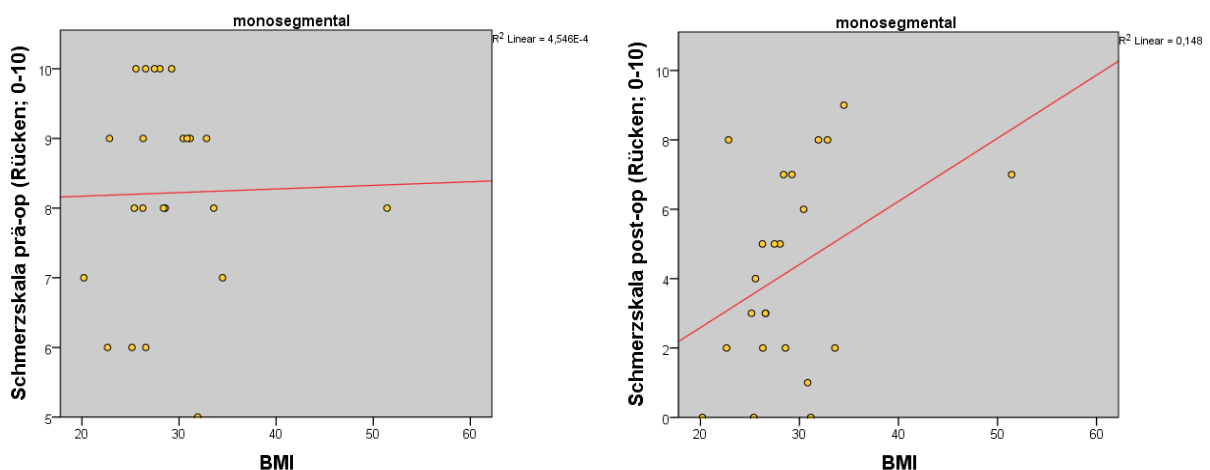
In der Gruppe „monosegmental“ konnten 0% ( $R^2 = 0,000$ ) der Schmerzen durch den BMI erklärt werden, bei Patienten, die „multisegmental“ versteift wurden, konnten 17,7% der Rückenschmerzen durch den BMI erklärt werden, bei der „Fraktur“ – Gruppe sind es 31,1% und bei „multisegmental nur FB“ lediglich 6,8%.

Bei einer Steigerung des BMIs um eine Einheit ( $\text{kg/m}^2$ ) würde es bei „multisegmental“ behandelten Patienten eine Verschlechterung der Rückenschmerzen um den Wert 0,091 geben. Dabei zeigte sich eine relevante Signifikanz ( $p = 0,009$ ). Bei den restlichen Untergruppen konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem BMI und Rückenschmerzen gezeigt werden („monosegmental“  $p = 0,923$ , „Fraktur“  $p = 0,094$ , „multisegmental nur FB“  $p = 0,498$ ).

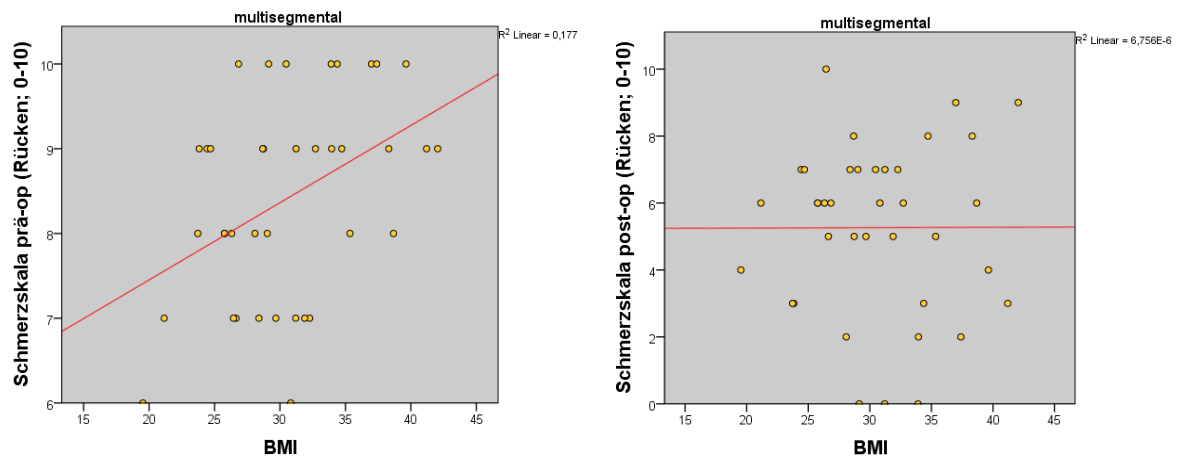
Postoperativ erhält man folgende Ergebnisse:

14,8% der postoperativen Rückenschmerzen konnten durch den Einfluss des BMIs in der Gruppe „monosegmental“ erklärt werden, 9,2% in der Gruppe „Fraktur“ und 7,9% bei „multisegmental nur FB“. In der Gruppe „multisegmental“ konnte der BMI nicht als mögliche Ursache der Schmerzen herangezogen werden.

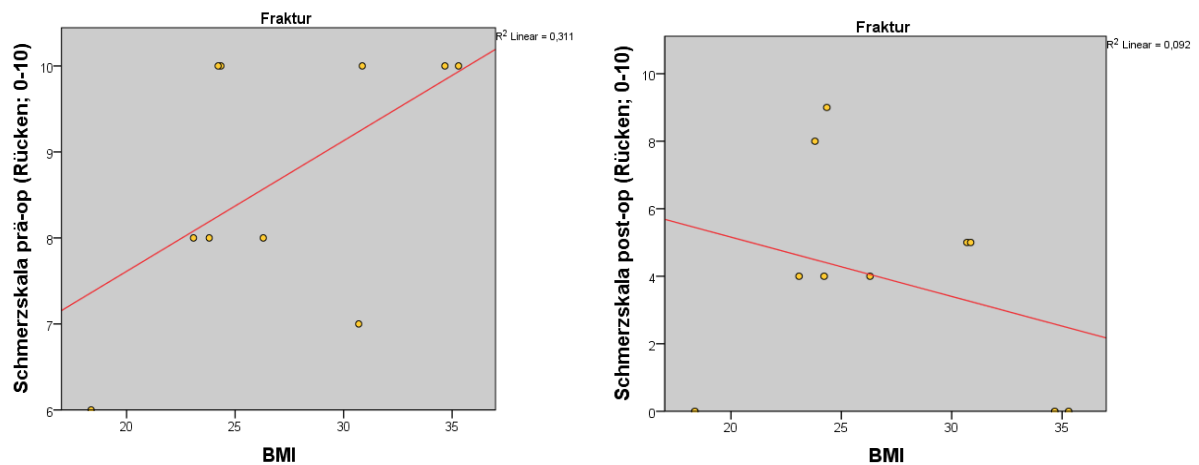
In allen Gruppen konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem BMI und Rückenschmerzen angegeben werden („monosegmental“  $p = 0,070$ , „multisegmental“  $p = 0,988$ , „Fraktur“  $p = 0,394$ , „multisegmental nur FB“  $p = 0,463$ ).



**Abbildung 10: Korrelation BMI zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“**

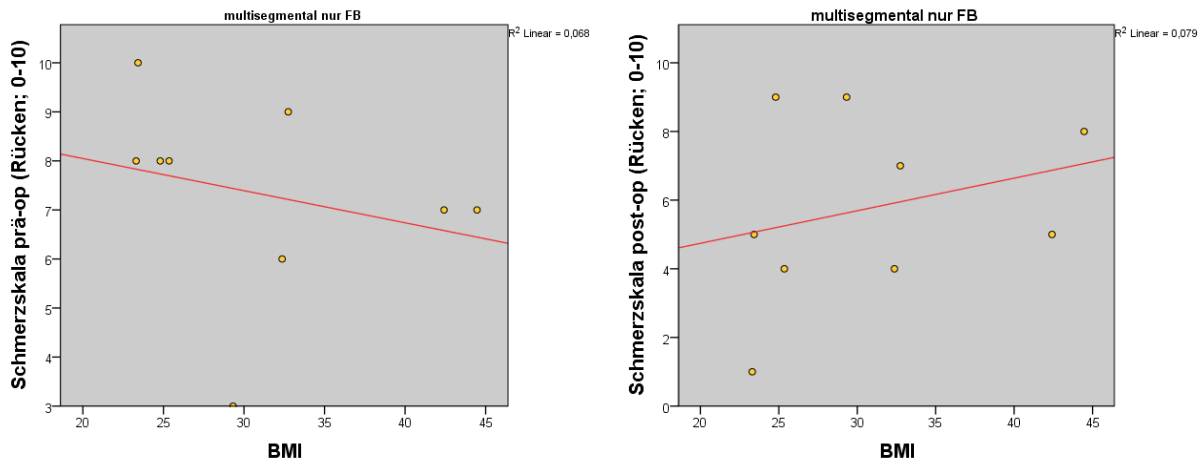


**Abbildung 11:** Korrelation BMI zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“



**Abbildung 12:** Korrelation BMI zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“





**Abbildung 13:** Korrelation BMI zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“

### 3.3.1.2 Linearer Zusammenhang zwischen BMI und Beinschmerzen prä- und postoperativ

Neben dem möglichen Einfluss des BMI auf die Rückenschmerzen wurden zusätzlich mögliche Auswirkungen auf die Beinschmerzen prä- und postoperativ untersucht.

Präoperativ zeigten sich folgende Ergebnisse:

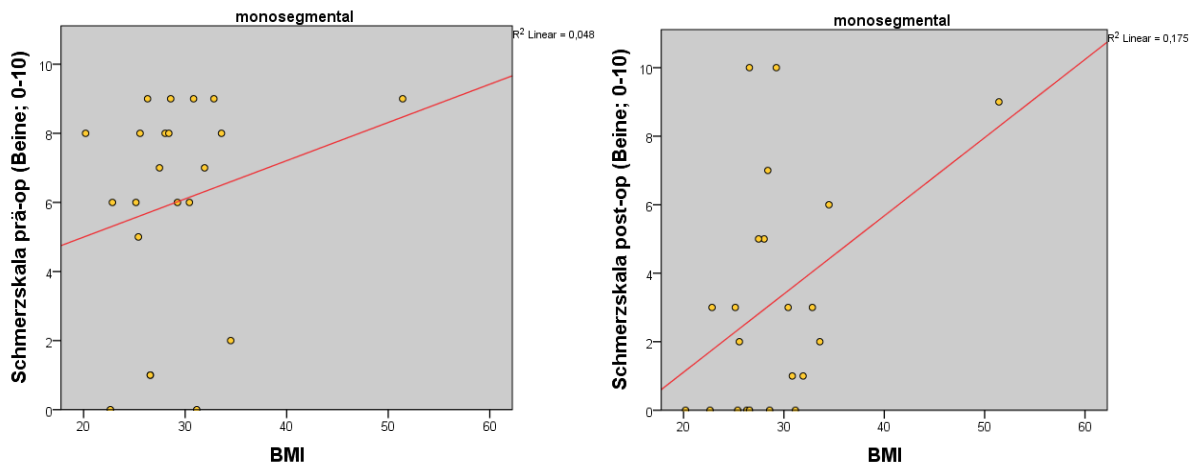
In der „monosegmental“ – Gruppe konnten 4,8%, in der „multisegmental“ – Gruppe 9,9% und in der „Fraktur“ – Gruppe 4,3% der Beinschmerzen durch den BMI erklärt werden. Die Schmerzen der Gruppe „multisegmental nur FB“ konnte nicht anhand des BMIs erklärt werden ( $R^2 = 0,000$ ).

Auch hier konnte eine statistische Signifikanz nicht gezeigt werden („monosegmental“  $p = 0,328$ , „multisegmental“  $p = 0,058$ , „Fraktur“  $p = 0,564$ , „multisegmental nur FB“  $p = 0,962$ ).

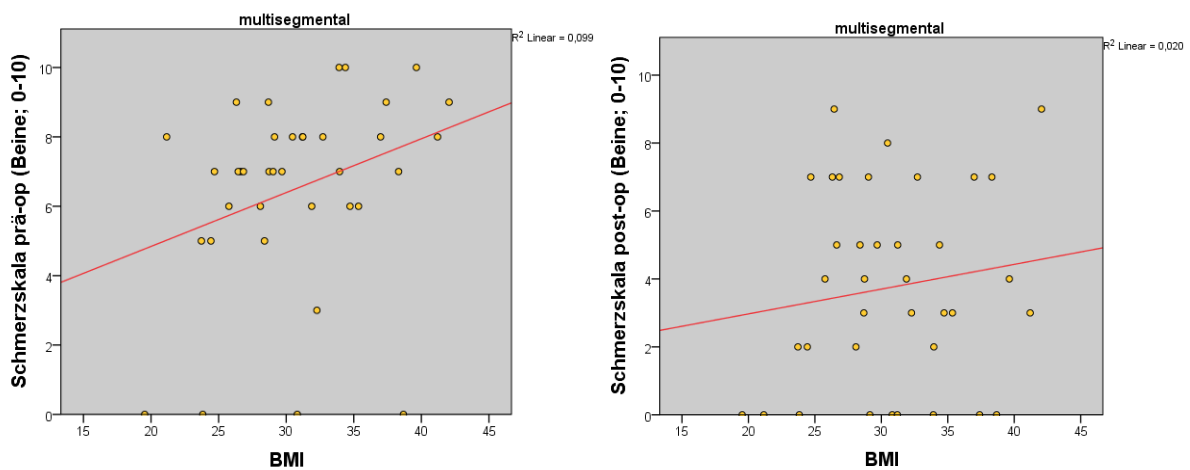
Postoperative erhielt man folgende Resultate:

17,5% der postoperativen Beinschmerzen konnten durch den Einfluss des BMIs in der Gruppe „monosegmental“ erklärt werden, 2,0% in der Gruppe „multisegmental“ und 0,7% bei „Fraktur“ und 7,6% bei „multisegmental nur FB“.

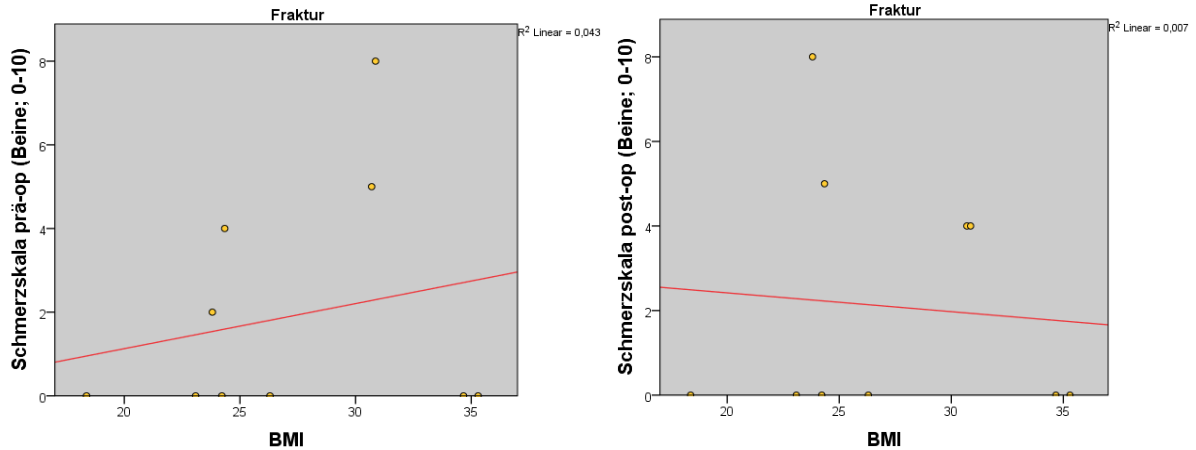
Alle Gruppen erwiesen sich als statistisch nicht signifikant („monosegmental“  $p = 0,052$ ; „multisegmental“  $p = 0,405$ ; „Fraktur“  $p = 0,819$ ; „multisegmental nur FB“  $p = 0,473$ ).



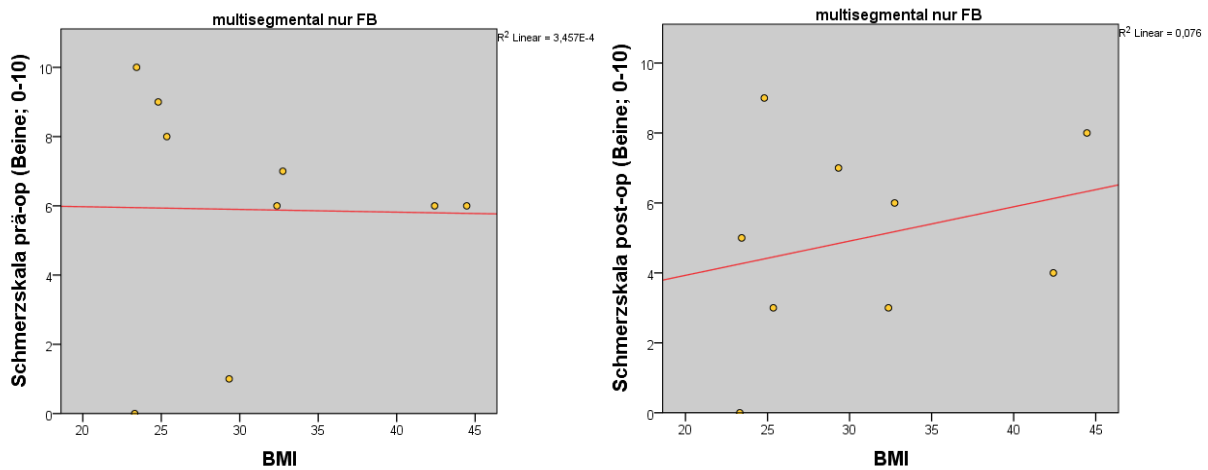
**Abbildung 14:** Korrelation BMI zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“



**Abbildung 15:** Korrelation BMI zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“



**Abbildung 16:** Korrelation BMI zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“



**Abbildung 17:** Korrelation BMI zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“

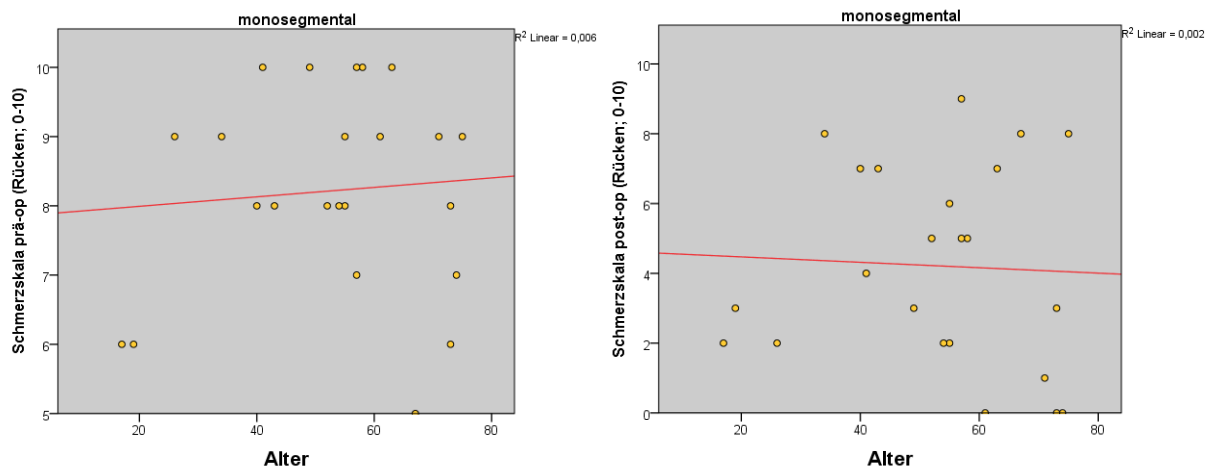
### 3.3.1.3 Linearer Zusammenhang zwischen dem Alter und Rückenschmerzen prä- und postoperativ

Bei der Frage, ob das Alter eine Rolle bei der Ausprägung der Schmerzen im Bereich des Rückens bzw. der Beine spielt, wurde Folgendes ermittelt:

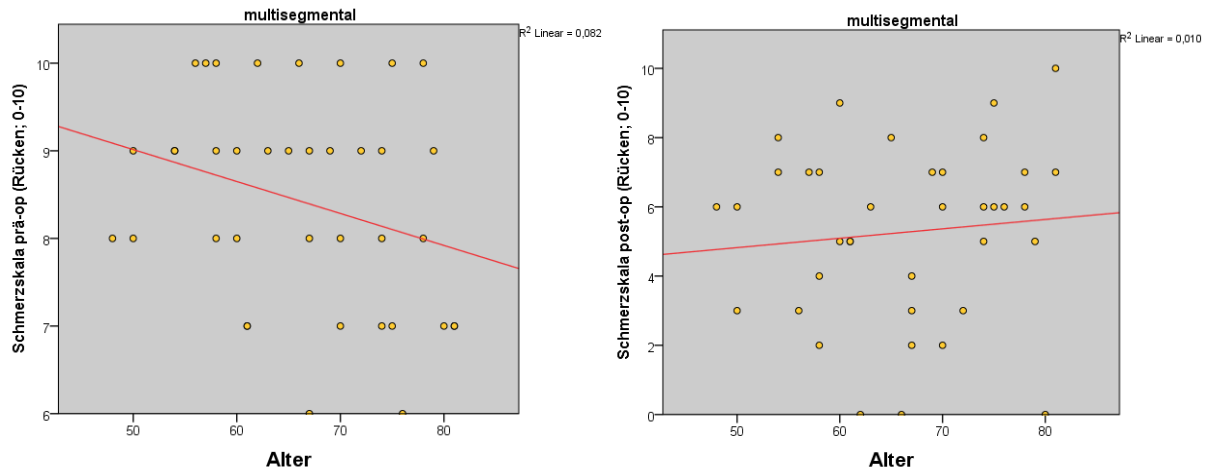
Lediglich 0,6% der präoperativen Rückenschmerzen der Gruppe „monosegmental“ konnten durch das Alter erklärt werden, auch in den Gruppen „multisegmental“ und „Fraktur“ konnte das Alter als mögliche Ursache in nur 8,2% und 2,2% in Erwägung gezogen werden. In der Gruppe „multisegmental nur FB“ waren es jedoch 42,5%. In keiner der Gruppen konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und der Schmerzausprägung des Rückens gezeigt werden („monosegmental“  $p = 0,719$ ; „multisegmental“  $p = 0,081$ ; „Fraktur“  $p = 0,684$ ; „multisegmental nur FB“  $p = 0,057$ ).

Postoperativ blieben die Zahlen bzgl. des Alters und möglicher Korrelation zur Schmerzausprägung des Rückens in den jeweiligen Gruppen ähnlich: „monosegmental“ 0,2%; „multisegmental“ 1,0%; „Fraktur“ 0,8% und „multisegmental nur FB“ 0,9%.

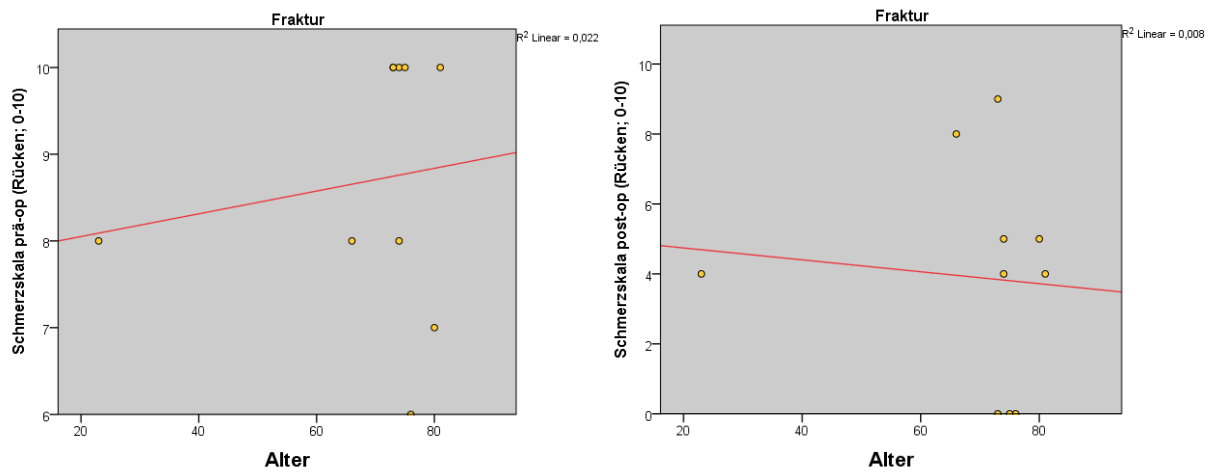
Eine statistische Signifikanz konnte auch postoperativ bei keiner der Gruppen aufgezeichnet werden („monosegmental“  $p = 0,835$ ; „multisegmental“  $p = 0,546$ ; „Fraktur“  $p = 0,804$ ; „multisegmental nur FB“  $p = 0,810$ ).



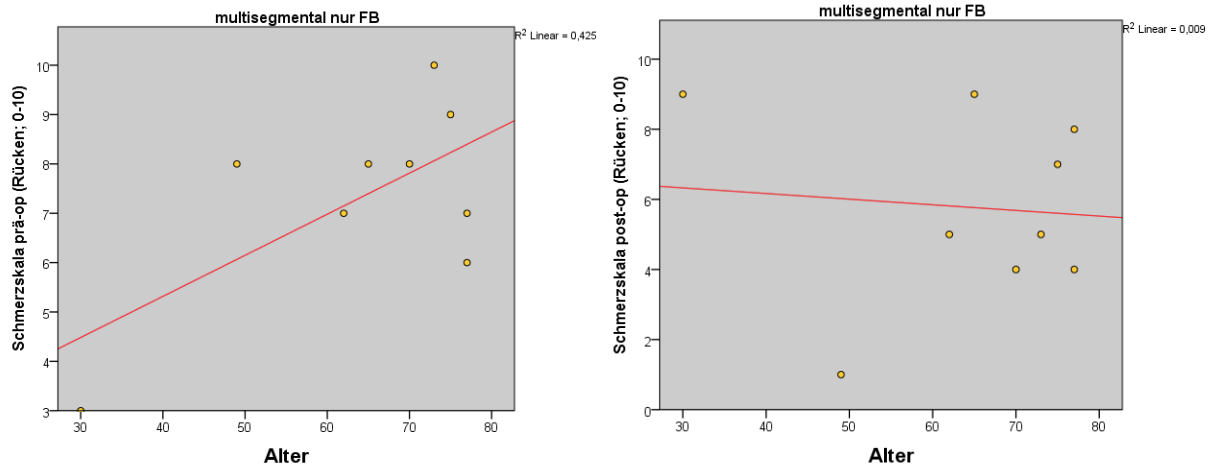
**Abbildung 18:** Korrelation Alter zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“



**Abbildung 19:** Korrelation Alter zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“



**Abbildung 20:** Korrelation Alter zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“



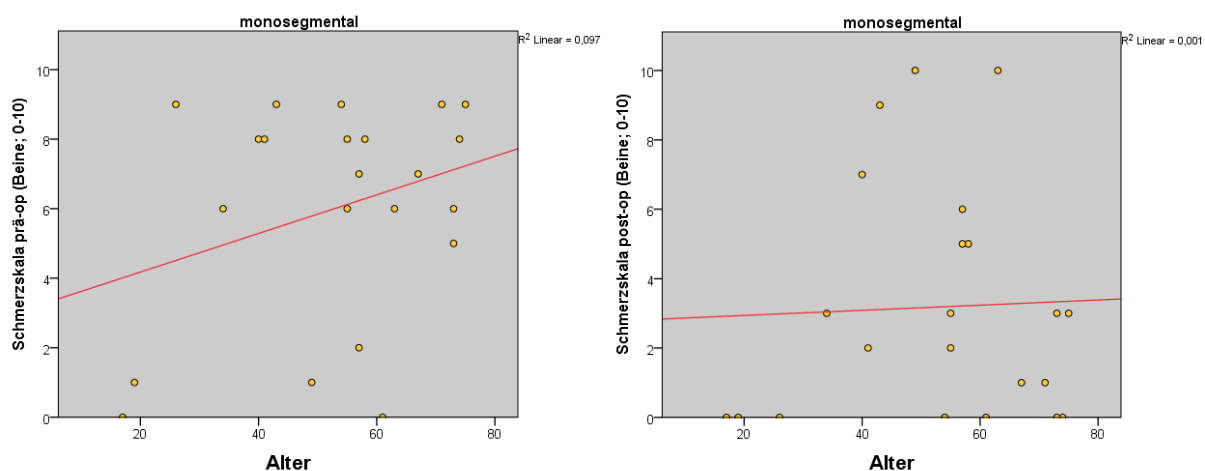
**Abbildung 21:** Korrelation Alter zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“

### 3.3.1.4 Linearer Zusammenhang zwischen dem Alter und Beinschmerzen prä- und postoperativ

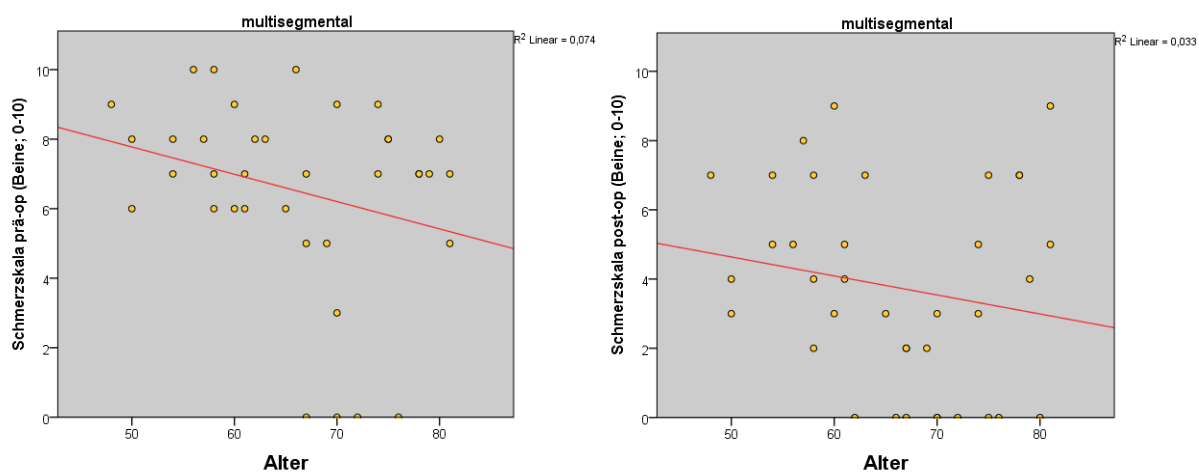
9,7% der präoperativen Beinschmerzen der Gruppe „monosegmental“ konnten durch das Alter erklärt werden, in den Gruppen „multisegmental“ und „Fraktur“ konnte das Alter als mögliche Ursache in nur 7,4% und 4,9% in Erwägung gezogen werden. In der Gruppe „multisegmental nur FB“ waren es jedoch 58,2%.

Mit jedem zusätzlichen Lebensjahr würden Patienten in der „multisegmentalen nur FB“ Gruppe eine Verschlimmerung der Beinschmerzen um den Wert 0,164 verspüren. Dabei konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und den Beinschmerzen gezeigt werden ( $p = 0,017$ ). Die restlichen drei Gruppen erwiesen sich als statistisch nicht signifikant („monosegmental“  $p = 0,159$ ; „multisegmental“  $p = 0,104$ ; „Fraktur“  $p = 0,539$ ).

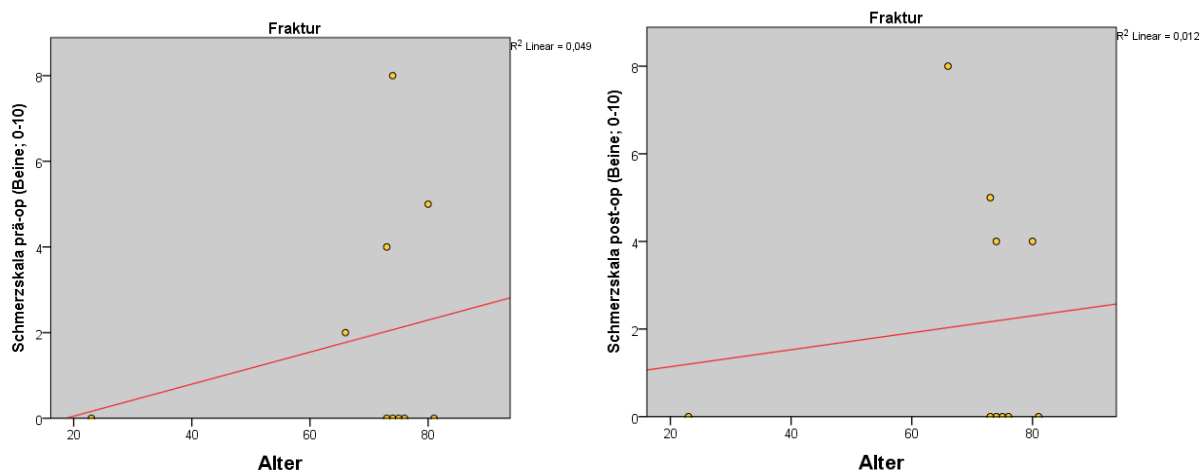
Postoperativ konnten folgende Zahlen bzgl. des Alters und Schmerzausprägung der Beine in den jeweiligen Gruppen ermittelt werden: „monosegmental“ 0,1%; „multisegmental“ 3,3%; „Fraktur“ 1,2% und „multisegmental nur FB“ 0,5%. Eine statistische Signifikanz konnte dabei nicht erreicht werden („monosegmental“  $p = 0,865$ ; „multisegmental“  $p = 0,283$ ; „Fraktur“  $p = 0,759$ ; „multisegmental nur FB“  $p = 0,857$ ).



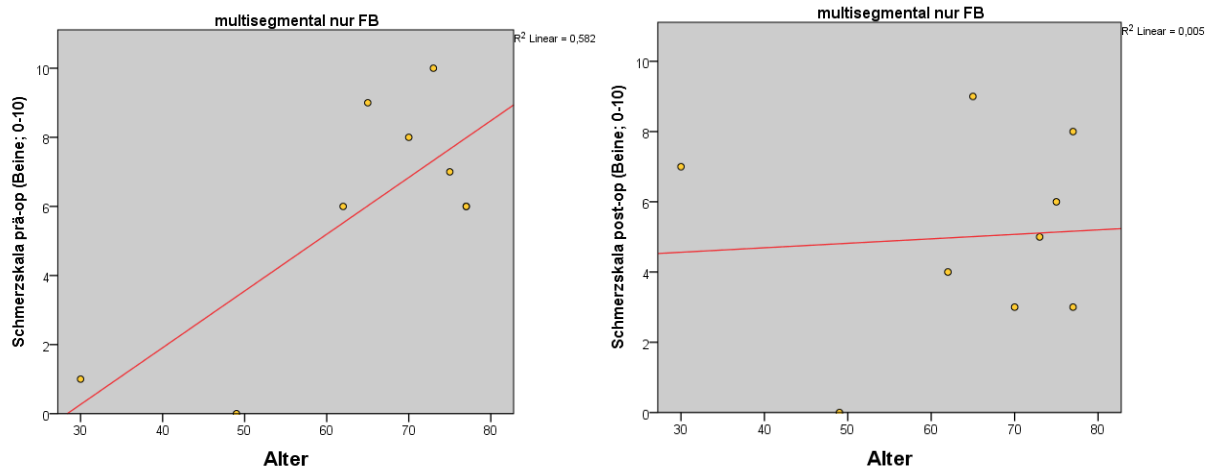
**Abbildung 22:** Korrelation Alter zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“



**Abbildung 23:** Korrelation Alter zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“



**Abbildung 24:** Korrelation Alter zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“



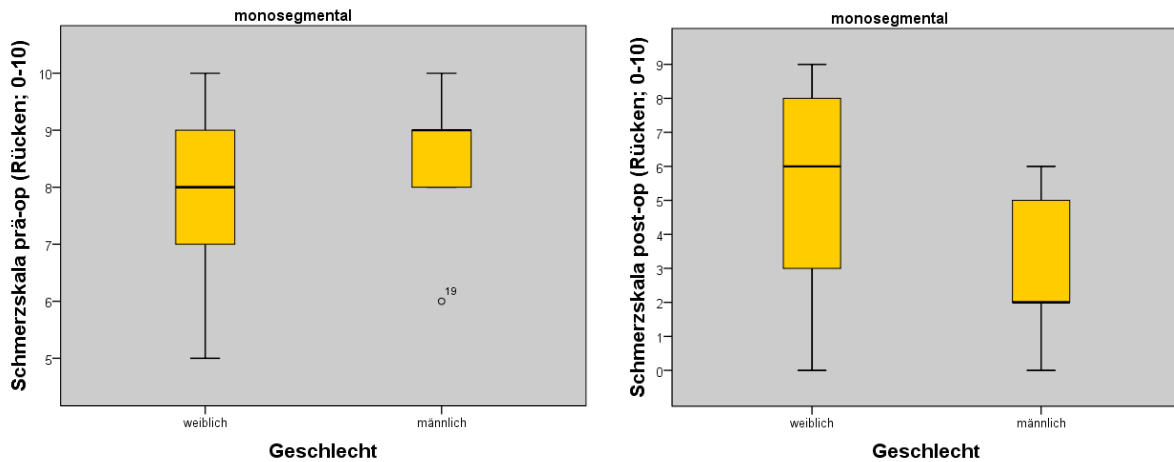
**Abbildung 25:** Korrelation Alter zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“

### 3.3.1.5 Mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede der Rückenschmerzen prä- und postoperativ

Ob sich Männer und Frauen in der Schmerzwahrnehmung (zunächst auf den Rücken bezogen) vor- und nach der Operation unterscheiden, wird im folgenden Abschnitt erläutert. Ein Vergleich wurde auch hier zwischen den jeweiligen Gruppen („monosegmental“/ „multisegmental“/ „Fraktur“/ „multisegmental nur FB“) gestellt:

„Monosegmental“: Präoperativ gaben die Patientinnen (n = 14) bzgl. der Schmerzskala einen Mittelwert von 8,00 an (SD  $\pm$  1,617), postoperativ einen Mittelwert von 4,93 (SD  $\pm$  3,125). Bei den männlichen Probanden (n = 9) sank der Mittelwert von anfangs 8,56 (SD  $\pm$  1,236) auf 3,11 (SD  $\pm$  2,147). Sowohl prä- (p = 0,391) als auch postoperativ (p = 0,143) konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden. Dennoch lässt sich eine postoperative Schmerzverbesserung anhand des Medianwertes sowohl bei den Frauen (Median von prä – op 8,0 auf post – op 5,5) als auch bei den Männern (prä – op von 9,0 auf post – op 2,0) erkennen. Vergleichen Sie dazu die unten angeführten Boxplots.

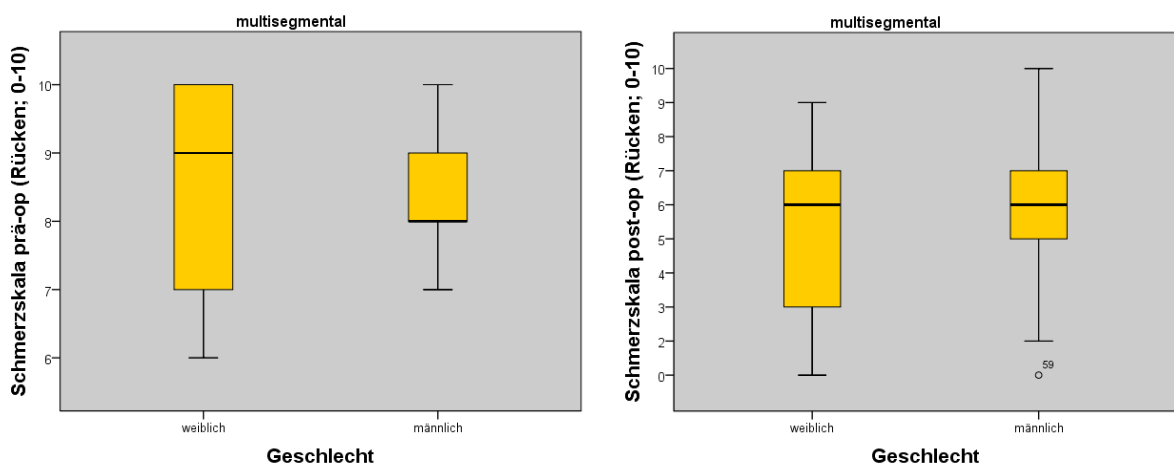




**Abbildung 26:** Korrelation Geschlecht zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“

„Multisegmental“: Präoperativ gaben die Patientinnen (n = 21) bzgl. der Schmerzskala einen Mittelwert von 8,48 an (SD  $\pm$  1,436), postoperativ einen Mittelwert von 5,14 (SD  $\pm$  2,632). Bei den männlichen Patienten (n = 17) sank der Mittelwert von anfangs 8,35 (SD  $\pm$  0,862) auf 5,41 (SD  $\pm$  2,476). Sowohl prä- (p = 0,746) als auch postoperativ (p = 0,750) konnte kein signifikanter Unterschied gezeigt werden.

Auch in dieser Gruppe kann eine postoperative Schmerzverbesserung anhand des Medianwertes bei Frauen (Median von prä – op 9,0 auf post – op 6,0) und bei Männern (prä – op von 8,0 auf post – op 6,0) gezeigt werden. Vergleichen Sie dazu die unten angeführten Boxplots.



**Abbildung 27:** Korrelation Geschlecht zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“

**„Fraktur“:** Präoperativ gaben die weiblichen Probanden ( $n = 7$ ) bzgl. der Schmerzskala einen Mittelwert von 9,14 an ( $SD \pm 1,574$ ), postoperativ einen Mittelwert von 3,71 ( $SD \pm 3,861$ ). Bei den Männern ( $n = 3$ ) sank der Mittelwert von anfangs 7,67 ( $SD \pm 0,577$ ) auf 4,33 ( $SD \pm 0,577$ ). Ein signifikanter Unterschied konnte sowohl prä- ( $p = 0,163$ ) als auch postoperativ ( $p = 0,692$ ) nicht gezeigt werden.

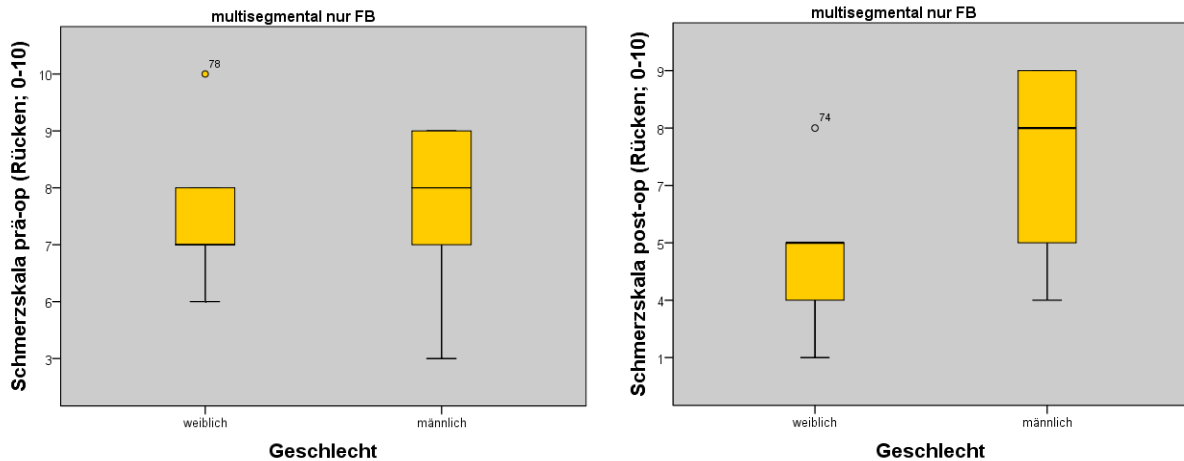
Eine postoperative Schmerzverbesserung wird auch in der Gruppe „Fraktur“ erkennbar. Der Medianwert sank bei Frauen von prä – op 10,0 auf post – op 4,0 und bei Männern von prä – op 8,0 auf post – op 4,0. Vergleichen Sie dazu die unten angeführten Boxplots.



**Abbildung 28:** Korrelation Geschlecht zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“

**„Multisegmental nur FB“:** Präoperativ wurden von den Frauen ( $n = 5$ ) bzgl. der Schmerzskala ein Mittelwert von 7,60 ( $SD \pm 1,517$ ), postoperativ ein Mittelwert von 4,60 ( $SD \pm 2,510$ ) angegeben. Bei den Männern ( $n = 4$ ) stieg der Mittelwert sogar von anfangs 7,00 ( $SD \pm 2,708$ ) auf 7,25 ( $SD \pm 2,363$ ). Ein signifikanter Unterschied konnte sowohl prä- ( $p = 0,685$ ) als auch postoperativ ( $p = 0,151$ ) nicht gezeigt werden.

Eine postoperative Schmerzverbesserung wird auch in dieser letzten Gruppe erkennbar. Der Medianwert sank bei Frauen von prä – op 7,0 auf post – op 5,0. Bei den männlichen Patienten konnte keine Änderung festgestellt werden (prä- und post – op NSR von 8,0). Vergleichen Sie dazu die unten angeführten Boxplots.



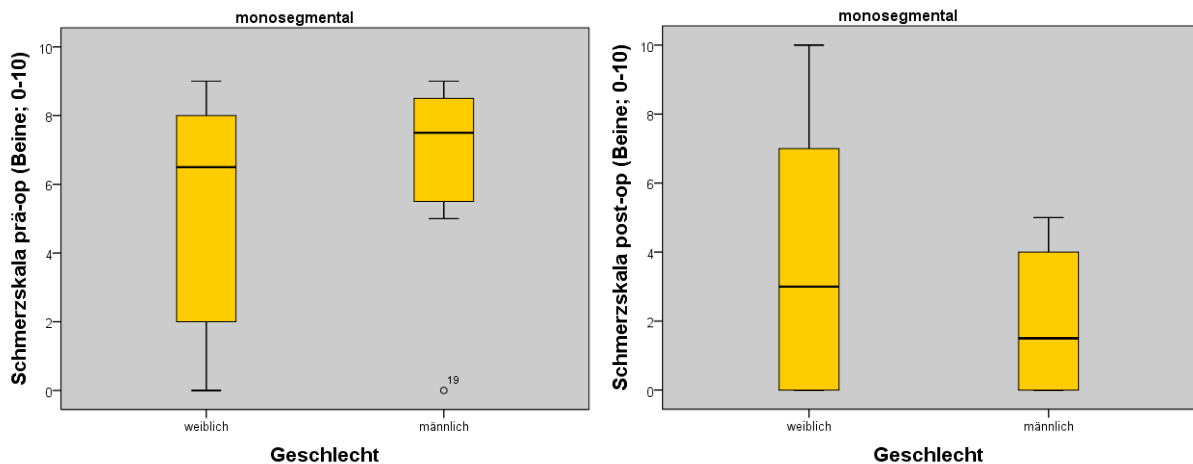
**Abbildung 29:** Korrelation Geschlecht zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“

### 3.3.1.6 Mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede der Beinschmerzen prä- und postoperativ

Nun folgt die Darstellung der Ergebnisse bezüglich der Schmerzausprägung bezogen auf die Beine, sowohl prä- als auch postoperativ.

„Monosegmental“: Präoperativ wurden von den Patientinnen (n = 14) ein Mittelwert von 5,71 (SD ± 3,292) der NRS aufgeführt, postoperativ nur mehr ein Mittelwert von 3,86 (SD ± 3,820). Die Männer (n = 8) gaben vor dem operativen Eingriff durchschnittlich einen Wert von 6,50 (SD ± 2,976) an, postoperativ nur mehr einen Wert von 2,00 (SD ± 2,138). Weder vor (p = 0,584) noch nach (p = 0,159) der Operation konnte ein signifikanter Unterschied ermittelt werden.

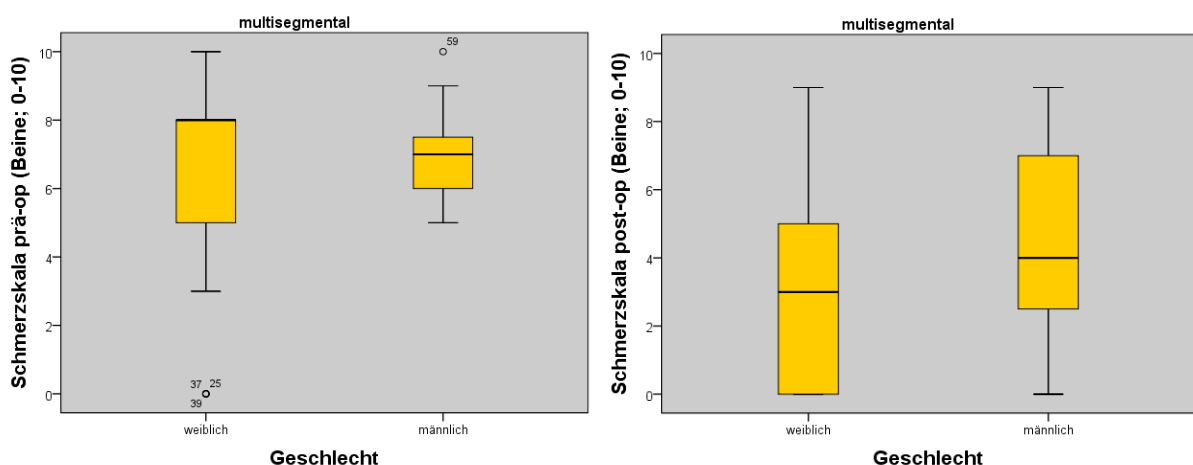
Eine Tendenz zur Verbesserung der vorhandenen Beinschmerzen nach der operativen Versorgung konnte anhand des Medianwertes bei beiden Geschlechtern gezeigt werden (♀: von prä – op 6,50 auf post – op 3,00; ♂: von prä – op 7,50 auf post – op 1,50).



**Abbildung 30: Korrelation Geschlecht zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“**

„Multisegmental“: Präoperativ wurden von den Frauen (n = 21) ein Mittelwert von 6,19 (SD  $\pm$  3,459) der NRS aufgeführt, postoperativ nur mehr ein Mittelwert von 3,14 (SD  $\pm$  3,021). Die Männer (n = 16) gaben vor dem operativen Eingriff durchschnittlich einen Wert von 6,94 (SD  $\pm$  1,340) an, postoperativ nur mehr einen Wert von 4,56 (SD  $\pm$  2,529). Ein signifikanter Unterschied konnte weder vor (p = 0,374) noch nach (p= 0,138) der Operation ermittelt werden.

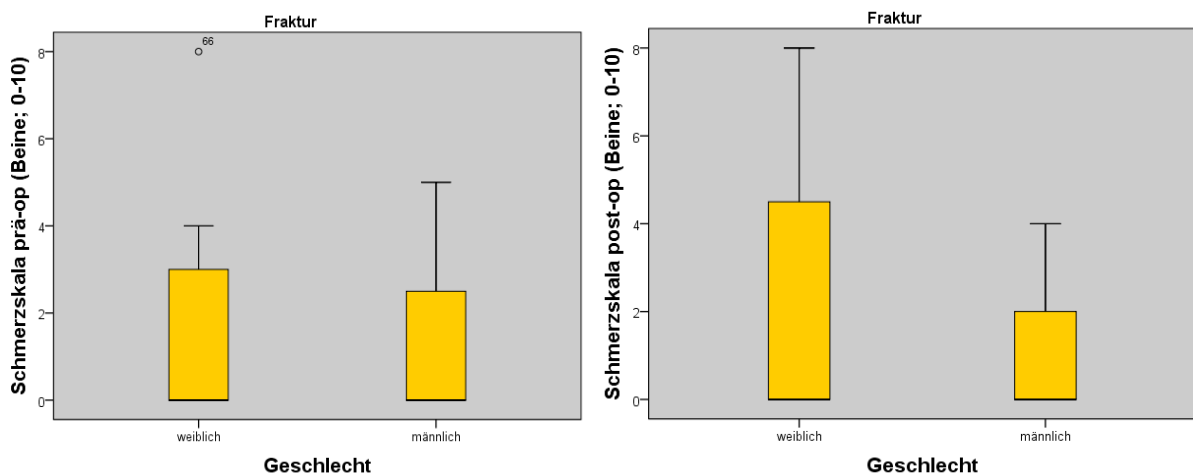
Auch in dieser Gruppe konnte anhand des Medianwertes eine Tendenz zur Verbesserung der vorhandenen Beinschmerzen nach der operativen Versorgung bei beiden Geschlechtern gezeigt werden (♀: von prä – op 8,00 auf post – op 3,00; ♂: von prä – op 7,00 auf post – op 4,00). Vergleichen Sie dazu die unten angeführten Boxplots.



**Abbildung 31: Korrelation Geschlecht zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“**

**„Fraktur“:** Präoperativ wurden von den Frauen (n = 7) ein Mittelwert von 2,00 (SD ± 3,055) der NRS aufgeführt, postoperativ jedoch ein Mittelwert von 2,43 (SD ± 3,259). Die männlichen Patienten (n = 3) gaben vor dem operativen Eingriff durchschnittlich einen Wert von 1,67 (SD ± 2,887) an, postoperativ einen Wert von 1,33 (SD ± 2,309). Signifikante Unterschiede konnten nicht ermittelt werden (prä – op: p = 0,877 post – op: p = 0,617).

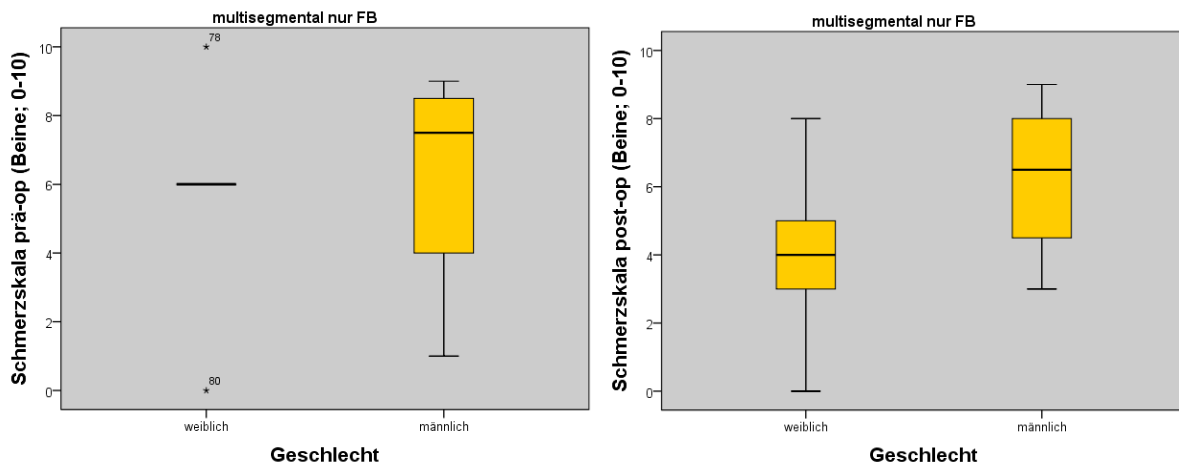
In dieser Untergruppe „Fraktur“ blieb der Medianwert nach der Operation bei beiden Geschlechtern gleich, nämlich bei NRS von 0,00.



**Abbildung 32:** Korrelation Geschlecht zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“

**„Multisegmental nur FB“:** Präoperativ wurden von den Patientinnen (n = 5) ein Mittelwert von 5,60 (SD ± 3,578) der NRS aufgeführt, postoperativ ein Mittelwert von 4,00 (SD ± 2,915). Die Männer (n = 4) gaben vor dem operativen Eingriff durchschnittlich einen Wert von 6,25 (SD ± 3,594) an, postoperativ veränderte sich dieser nicht (SD ± 2,500). Signifikante Unterschiede konnten nicht ermittelt werden (prä – op: p = 0,795 post – op: p = 0,261).

In der Gruppe „multisegmental nur FB“ konnte anhand des Medianwertes eine Tendenz zur Verbesserung der vorhandenen Beinschmerzen nach der operativen Versorgung bei beiden Geschlechtern gezeigt werden (♀: von prä – op 6,00 auf post – op 4,00; ♂: von prä – op 7,50 auf post – op 6,50).



**Abbildung 33:** Korrelation Geschlecht zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“

### 3.3.2 Auswirkungen der Sagittalen Balance in Form der Lendenlordose auf verschiedene Schmerzkriterien sowie Alltagsprobleme

Alle nochmals einbestellten Patienten wurden bei noch vorhandenen Schmerzen nach verschiedenen Kriterien, wie z. B. dem Schmerzcharakter oder der Schmerzhäufigkeit gefragt. Entscheidend für uns war die Schmerzveränderung, das heißt, ob es postoperativ zu einer klinischen Verbesserung oder Verschlechterung gekommen ist oder die Beschwerden auf konstantem Level geblieben sind.

#### 3.3.2.1 Schmerzveränderung

Alle Studienteilnehmer wurden bezüglich einer möglichen Schmerzveränderung gefragt und konnten zwischen 4 Kategorien entscheiden: „schmerzfrei“ – „Besserung“ – „gleichgeblieben“ – „Verschlechterung“.

Bei einer Gesamtzahl von 63 Menschen gaben 11,1% (7/63) an, dass sie im Moment „schmerzfrei“ waren, 61,9% (39/63) verspürten immerhin eine „Verbesserung“ der Beschwerden, „gleichbleibende“ Schmerzen empfanden 15,9% (10/63) und eine postoperative „Verschlechterung“ beklagten 11,1% (7/63) der Probanden.

Innerhalb des Intervalls  $LL = PI \pm 10$ , waren 5 von 35 Personen (14,3%) „schmerzfrei“, 22 von 35 (62,9%) verspürten eine „Verbesserung“ der Beschwerden, bei 3 von 35 Personen (8,6%) blieben die Schmerzen „gleich“ und bei 5 von 35 (14,3%) kam es zu einer „Verschlechterung“.

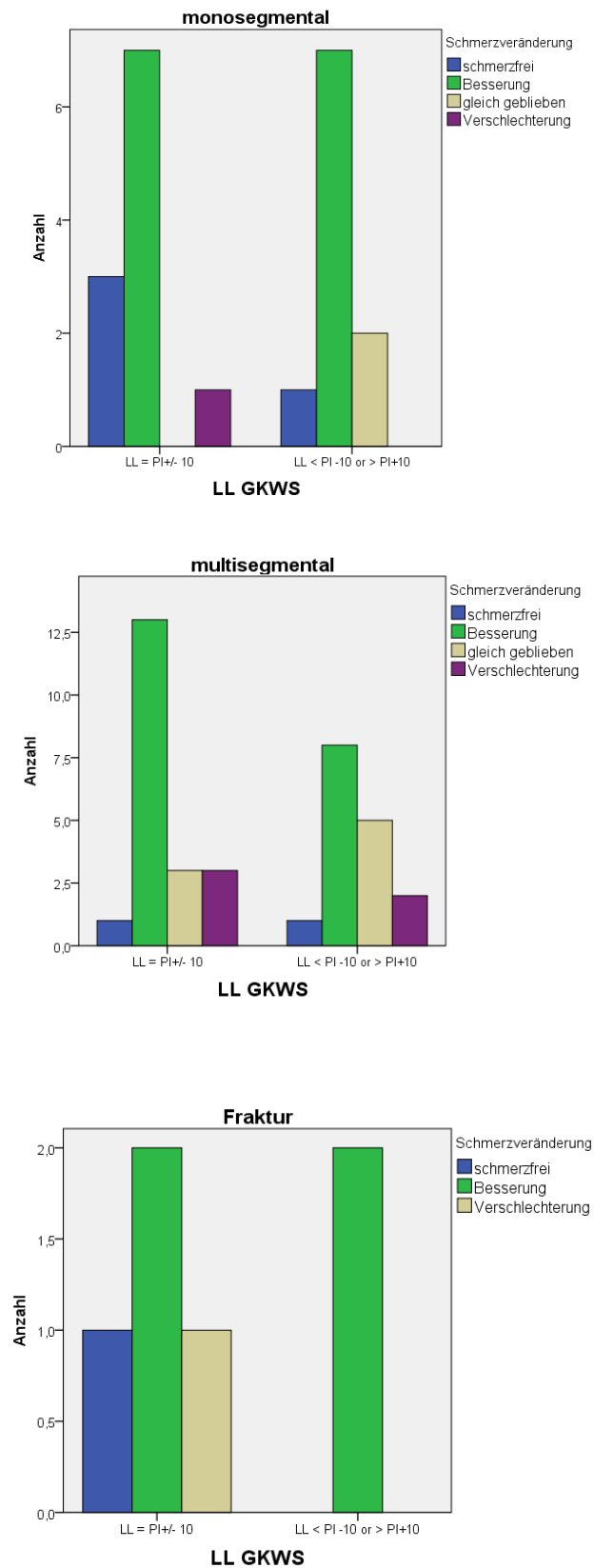
Außerhalb des Intervalls  $LL = PI \pm 10$ , waren 2 von 28 Personen (7,1%) „schmerzfrei“, 17 von 28 (60,7%) verspürten eine „Verbesserung“ der Beschwerden, bei 7 von 28 Personen (25,0%) blieben die Schmerzen „gleich“ und bei 2 von 28 (7,1%) kam es zu einer „Verschlechterung“.

Gegliedert in die jeweiligen Untergruppen erhält man folgende Ergebnisse:

„monosegmental“: 3 von 11 Probanden (27,3%), die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, waren laut Angaben „schmerzfrei“, außerhalb des Intervalls war es lediglich 1 von 10 (10%) Probanden. Bei 7 von 11 (63,6%), die innerhalb  $LL = PI \pm 10$  waren, und bei 7 von 10 (70%) Patienten außerhalb der Grenzen, kam es zu einer „Besserung“ der Schmerzen. „Keine Veränderung“ verspürten 2 von 10 (20%) der Studienteilnehmer, die die Formel  $LL = PI \pm 10$  nicht erfüllten. Zu einer „Verschlechterung“ der Schmerzen kam es bei 1 von 11 (9,1%) Personen, die innerhalb des Intervalls waren.

„multisegmental“: innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  war 1 von 20 (5,0%) Probanden „schmerzfrei“, außerhalb davon war es 1 von 16 (6,3%). Eine „Verbesserung“ der Beschwerden konnten 13 von 20 (65,0%) Personen innerhalb des Intervalls und 8 von 16 (50,0%) außerhalb davon wahrgenommen werden. Bei 3 von 20 (15,0%) Studienteilnehmern innerhalb des gewünschten Bereiches und 5 von 16 (31,3%) außerhalb des Bereiches wurden „gleichbleibende“ Schmerzverhältnisse dokumentiert. Eine „Verschlechterung“ des Schmerzzustandes wurde von 3 von 20 (15,0%) innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  und von 2 von 16 (12,5%) Personen beklagt.

„Fraktur“: 1 von 4 Patienten (25,0%), die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, waren laut Fragebogen „schmerzfrei“. 2 von 4 Personen (50,0%) innerhalb des Intervalls und 2 von 2 Personen (100,0%) außerhalb davon hatten eine „Verbesserung“ der Schmerzen bemerkt. Eine „Verschlechterung“ hingegen gab nur 1 von 4 Personen (25,0%) in der Fraktur – Gruppe, die außerhalb der gewünschten Grenzen lag, an. Eine statistische Signifikanz konnte bei keiner der angeführten Gruppen gezeigt werden („monosegmental“:  $p = 0,426$  „multisegmental“:  $p = 0,648$  und „Fraktur“:  $p = 1,000$ ).



**Abbildung 34:** Schmerzveränderung bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

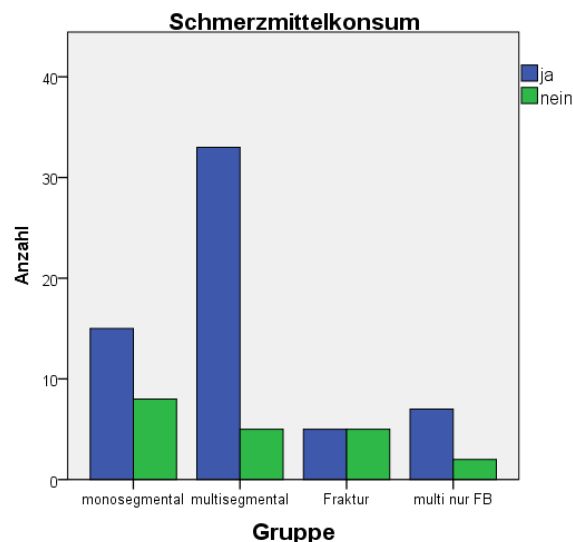


### 3.3.3 Einsatz von Schmerzmittel

Nun stellte sich die Frage, ob sich der Konsum von Schmerzmitteln innerhalb der jeweiligen Gruppen unterscheidet und ob die Ausprägung der Lendenlordose auch mögliche Auswirkungen auf den Gebrauch von Schmerzmittel hat.

#### 3.3.3.1 Zusammenhang zwischen Gruppen und dem Einsatz von Schmerzmittel

In der Gruppe „monosegmental“ gaben 15 von insgesamt 23 Probanden (65,2%) an, weiterhin Schmerzmittel zu nehmen, die restlichen 8 (34,8%) Personen verneinten dies. 33 von 38 (86,8%) Probanden der „multisegmentalen“ Gruppe mussten auf Schmerzmittel zurückgreifen, 5 von 38 (13,2%) hingegen nicht. Von den Personen in der „Fraktur“ Gruppe bejahten 5 von 10 (50,0%) Patienten, Schmerzmittel zu nehmen, die andere Hälfte benötigte keine. In der Gruppe „multisegmental nur FB“ waren es 7 von 9 (77,8%) Teilnehmern, die die Schmerzen medikamentös bekämpfen mussten, 2 von 9 (22,2%) hingegen nicht. Dabei zeigte sich innerhalb der Gruppen kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,061$ ).



**Abbildung 35: Schmerzmittelkonsum innerhalb der Gruppen**

### 3.3.3.2 Zusammenhang von $LL = PI \pm 10$ und dem Einsatz von Schmerzmittel

Es konnte gezeigt werden, dass bei allen Patienten, von denen alle Daten vorhanden waren ( $n = 63$ ) 48 davon (76,2%) weiterhin Schmerzmittel einnahmen, 15 davon nicht (23,8%). Unterscheidet man nun zwischen innerhalb (Gesamtzahl der Probanden: 35) und außerhalb (Gesamtzahl der Probanden: 28) des gewünschten Intervalls ( $LL = PI \pm 10$ ), können folgende Zahlen erhoben werden: 65,7% (23/35) bejahten den Gebrauch von Schmerzmittel, 34,3% (12/35) dagegen nicht. 89,3% (25/28) außerhalb des Intervalls nahmen weiterhin Schmerzmittel, 10,7% (3/28) nicht. Dabei konnte eine statistische Signifikanz gezeigt werden („gesamt“:  $p = 0,029$ ).

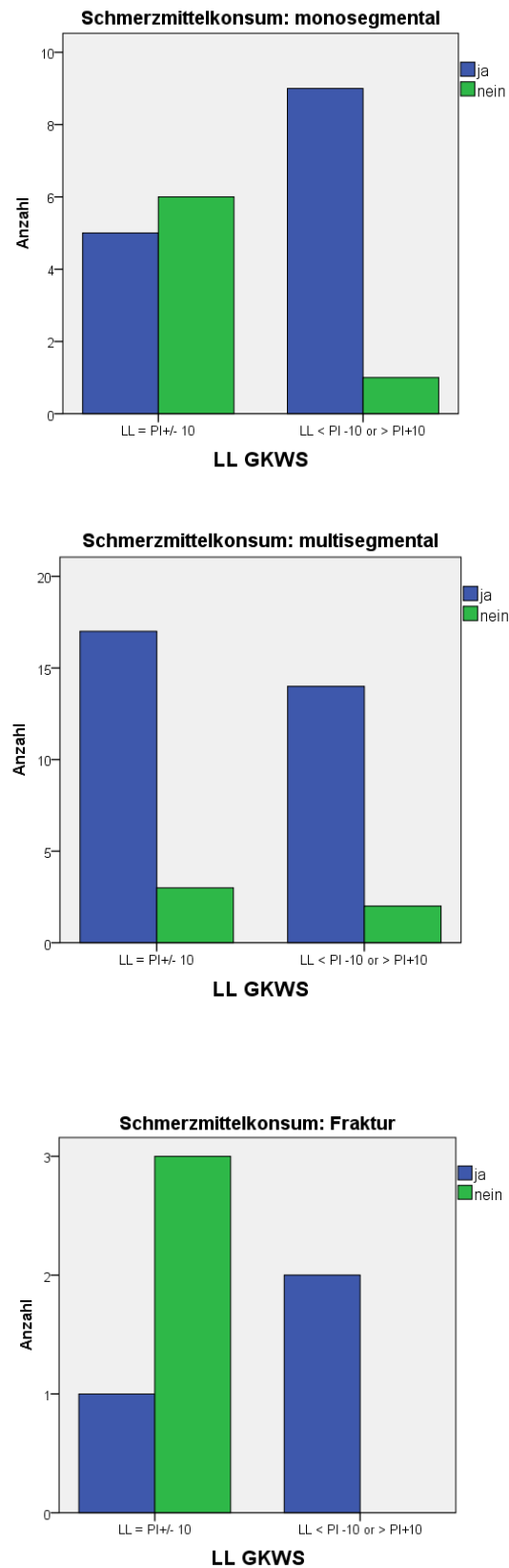
Eine weitere Unterteilung in die bereits bekannten Untergruppen ergab folgende Ergebnisse:

„monosegmental“: 5 von 11 (45,5%) Personen, die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, nahmen weiterhin Schmerzmittel ein, 6 von 11 (54,5%) hingegen nicht. Außerhalb des Intervalls waren es immerhin 9 von 10 (90,0%) Probanden, die noch Schmerzmedikation benötigten und 1 von 10 (10,0%) nicht.

„multisegmental“: innerhalb des Intervalls gaben 17 von 20 (85,0%) Studienteilnehmer den Gebrauch von Schmerzmittel zu, 3 von 20 (15,0%) dagegen nicht. 14 von 16 (87,5%) Personen außerhalb der Grenzen nahmen Schmerzmittel ein, 2 von 16 (12,5%) nicht.

„Fraktur“: 1 von 4 (25,0%) der Patienten innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  brauchte weiterhin Schmerzmittel, 3 von 4 (75,0%) dagegen nicht. Außerhalb des Bereiches mussten 2 von 2 (100,0%) Medikamente einnehmen.

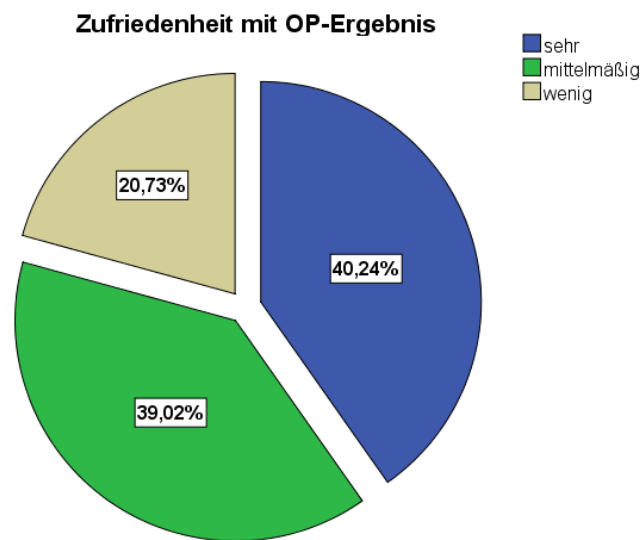
Eine statistische Signifikanz konnte bei einer der Gruppen gezeigt werden („monosegmental“:  $p = 0,031$ ). Bei den anderen beiden hingegen nicht („multisegmental“:  $p = 0,829$  und „Fraktur“:  $p = 0,083$ ).



**Abbildung 36:** Schmerzmittelkonsum bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

### 3.3.4 Zufriedenheit der Patienten innerhalb der Gruppen

Ein weiterer interessanter Punkt dieser Studie war die Zufriedenheit der Patienten nach dem operativen Eingriff. Die Studienteilnehmer konnten dabei zwischen „sehr zufrieden“ – „mittelmäßig zufrieden“ und „wenig zufrieden“ wählen. Allgemein betrachtet waren von allen Probanden ( $n = 82$ ) 33 davon „sehr zufrieden“ (40,2%), 32 Patienten „mittelmäßig zufrieden“ (39,0%) und 17 Personen „wenig zufrieden“ (20,7%).



**Abbildung 37: Zufriedenheit mit dem OP-Ergebnis im Gesamtkollektiv**

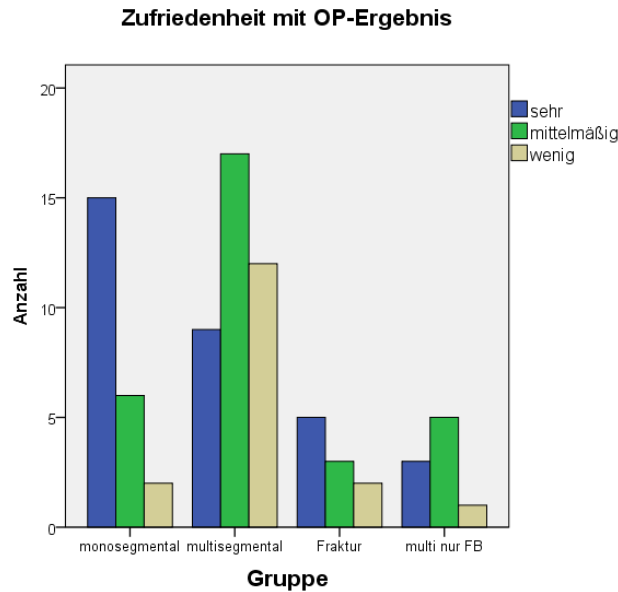
Nach Gliederung in die einzelnen Untergruppen, konnten folgende Zahlen ermittelt werden: In der „monosegmentalen“ Gruppe waren 65,2% (15/23) der Patienten „sehr zufrieden“, 26,1% (6/23) nur „mittelmäßig zufrieden“ und 8,7% (2/23) „wenig zufrieden“. Patienten, bei denen mehrere Etagen („*multisegmental*“) versteift wurden, waren 23,7% (9/38) „sehr zufrieden“, 44,7% (17/38) „mittelmäßig zufrieden“ und 31,6% (12/38) „wenig zufrieden“. Die Gruppe „Fraktur“ zählte 50,0% (5/10), die „sehr zufrieden“ waren, 30,0% (3/10), die „mittelmäßig zufrieden“ waren und 20,0% (2/10), die „wenig zufrieden“ waren.

In der Gruppe „multisegmental nur FB“ gaben 33,3% (3/9) an, dass sie mit dem postoperativen Ergebnis „sehr zufrieden“ waren, 55,6% (5/9) nur „mittelmäßig

zufrieden“ und 11,1% (1/9) „wenig zufrieden“ waren. Die Gruppen „monosegmental nur FB“ und „Fraktur nur FB“ wurden aufgrund der kleinen Fallzahl (jeweils  $n = 1$ ) rausgenommen. Dabei konnte eine statistische Signifikanz innerhalb der Gruppen gezeigt werden ( $p = 0,013$ ). Werden die einzelnen Gruppen genauer betrachtet, erkennt man, dass sich insbesondere zwischen „monosegmental“ und „multisegmental“ ein signifikanter Unterschied ergibt (vgl. „Paarweise Vergleiche von Gruppen“).

Sample 1-Sample 2	Teststatistik	Standard fehler	Standardtest statistik	Sig.	Korr. Sig.
monosegmental- Fraktur	-7,507	8,202	-,915	,360	1,000
monosegmental- multi nur FB	-10,623	8,514	-1,248	,212	1,000
monosegmental- multisegmental	-18,575	5,721	-3,247	,001	,007
Fraktur-multi nur FB	-3,117	9,949	-,313	,754	1,000
Fraktur- multisegmental	11,068	7,696	1,438	,150	,902
multi nur FB- multisegmental	7,952	8,028	,991	,322	1,000

**Tabelle 3: Paarweise Vergleiche von Gruppen**



**Abbildung 38:** Zufriedenheit mit dem OP – Ergebnis innerhalb der Gruppen

### 3.3.4.1 Zusammenhang zwischen $LL = PI \pm 10$ und Zufriedenheit der Patienten

Bei einer Gesamtzahl von 63 Personen waren 39,7% (25/63) „sehr zufrieden“ mit dem postoperativen Ergebnis, 34,9% (22/63) „mittelmäßig“ und 25,4% (16/63) „wenig zufrieden“. Werden die Probanden innerhalb und außerhalb des Intervalls  $LL = PI \pm 10$  aufgelistet, konnten folgende Zahlen ermittelt werden: 42,9% (15/35) innerhalb und 35,7% (10/28) außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren „sehr zufrieden“, 28,6% (10/35) innerhalb und 42,9% (12/28) außerhalb des Intervalls waren nur „mittelmäßig zufrieden“. „Wenig zufrieden“ waren 28,6% (10/35) innerhalb und 21,4% (6/28) der Personen außerhalb der gewünschten Grenzen.

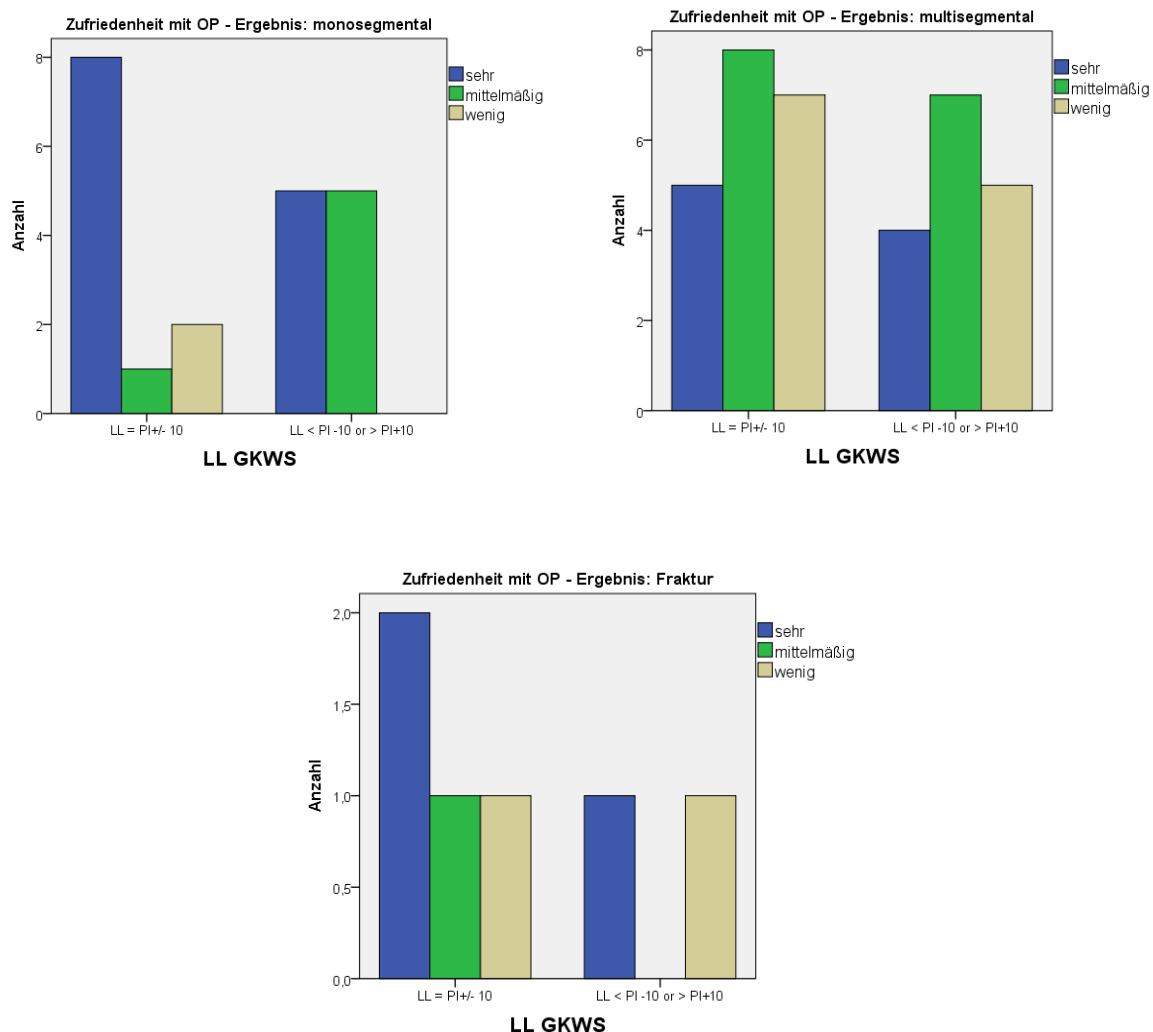
Eine weitere Unterteilung in die bereits bekannten Untergruppen ergab folgende Ergebnisse:

„monosegmental“: 8 von 11 Personen (72,7%), die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, waren nach der Operation „sehr zufrieden“, 1 von 11 (9,1%) nur „mittelmäßig“ und 2 von 11 (18,2%) „wenig zufrieden“. Außerhalb des Intervalls waren 5 von 10 (50,0%) Probanden „sehr zufrieden“ und 5 von 10 (50,0%) nur „mittelmäßig zufrieden“.

**„multisegmental“:** innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren es 5 von 20 (25,0%) Personen, die „sehr zufrieden“ mit dem postoperativen Resultat waren, „mittelmäßig zufrieden“ waren 8 von 20 (40,0%) und „wenig zufrieden“ waren 7 von 20 (35,0%). Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren 4 von 16 (25,0%) der Patienten „sehr zufrieden“, 7 von 16 (43,8%) waren „mittelmäßig zufrieden“ und 5 von 16 (31,3%) nur „wenig zufrieden“.

**„Fraktur“:** 2 von 4 Personen (50,0%), die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, waren nach der Operation „sehr zufrieden“, jeweils 1 von 4 (25,0%) nur „mittelmäßig“ und „wenig zufrieden“. Außerhalb des Intervalls war jeweils 1 von 2 (50,0%) Probanden „sehr zufrieden“ und nur „wenig zufrieden“.

Eine statistische Signifikanz konnte bei keiner der jeweiligen Gruppen gezeigt werden („monosegmental“:  $p = 0,605$  „multisegmental“:  $p = 0,888$  und „Fraktur“  $p = 0,800$ ).



**Abbildung 39:** Zufriedenheit mit dem OP – Ergebnis bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

### 3.4 Klinische Schmerzen

Im zweiten Abschnitt des Resultatanteils werden die Ergebnisse einiger klinischer Untersuchungen präsentiert. Dabei wurde unter anderem getestet, ob ein ISG Druckschmerz weiterhin vorhanden war, sich der Reklinationsschmerz postoperativ verbessert hat und wie sich die Operation auf den Finger – Boden – Abstand ausgewirkt hat.

#### 3.4.1 Zusammenhang zwischen $LL = PI \pm 10$ und ISG Druckschmerz

Es standen drei Antwortmöglichkeiten zur Auswahl: „keine“ – „einseitige“ – „beidseitige“ Druckschmerzen.

Bei einer Gesamtzahl von 63 Personen, gaben 36,5% (23/63) „keine“ Druckschmerzen des ISG an, 33,3% (21/63) „einseitige“ und 30,2% (19/63) „beidseitige“ Schmerzen an. Werden die Studienteilnehmer in zwei Gruppen, innerhalb und außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  unterteilt, können folgende Zahlen angegeben werden: 42,9% (15/35), die die Gleichung erfüllten, gaben „keine“ Beschwerden an, 28,6% (10/35) hatten „einseitige“ und 28,6% (10/35) hatten „beidseitige“ Druckschmerzen im Bereich des Iliosakralgelenks. Außerhalb des Intervalls waren es 28,6% (8/28) der Probanden, die „keine“ Schmerzen hatten, 39,3% (11/28) nur „einseitige“ und 32,1% (9/28) „beidseitige“ Druckschmerzen.

Die bereits bekannte Gliederung in die jeweiligen Untergruppen ergab folgende Ergebnisse:

„monosegmental“: 6 von 11 (54,5%) Personen, die sich innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  befanden, hatten „keine“ postoperativen ISG – Druckschmerzen, 4 von 11 (36,4%) gaben „einseitige“ und 1 von 11 (9,1%) „beidseitige“ Beschwerden an.

4 von 10 (40,0%) Probanden, die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  nicht erfüllten, hatten „keine“ Druckschmerzen, 5 von 10 (50,0%) nur „einseitige“ und 1 von 10 (10,0%) „beidseitige“ Schmerzen im Bereich des ISGs.

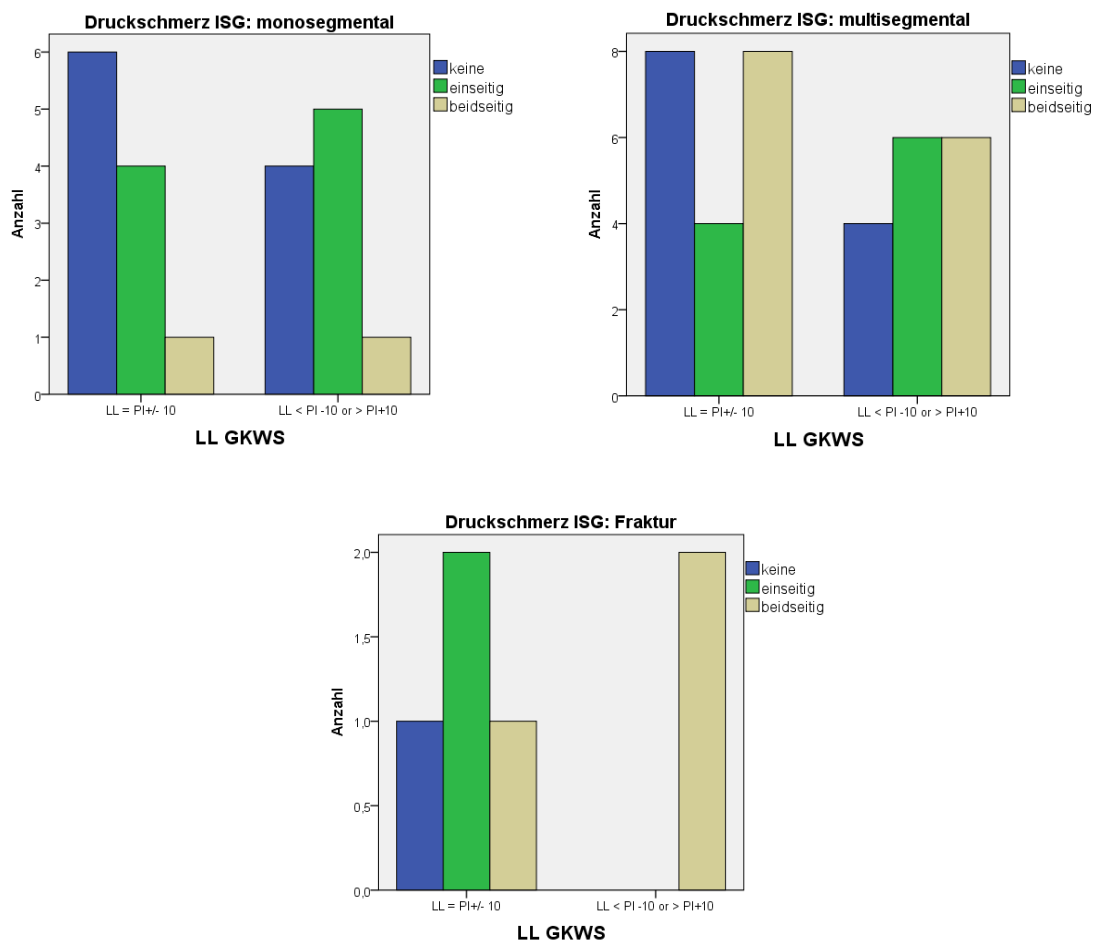


**„multisegmental“:** bei 8 von 20 (40,0%) der Teilnehmer, die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, konnten „keine“ Beschwerden aufgezeichnet werden, bei 4 von 20 (20,0%) Personen wurden „einseitige“ und bei 8 von 20 (40,0%) „beidseitige“ Schmerzen angegeben.

Außerhalb des Intervalls von  $LL = PI \pm 10$  waren es 4 von 16 (25,0%) Personen, die „keine“ und jeweils 6 von 16 (37,5%) Personen, die „einseitige“ und „beidseitige“ Beschwerden angaben.

**„Fraktur“:** innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  hatten 1 von 4 (25,0%) „keine“, 2 von 4 (50,0%) „einseitige“ und 1 von 4 (25,0%) „beidseitige“ Beschwerden im ISG – Bereich. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren es 2 von 2 (100,0%) Personen, die die Kategorie „beidseitig“ angegeben hatten.

Eine statistische Signifikanz innerhalb der Gruppen konnte nicht gezeigt werden („monosegmental“:  $p = 0,605$  „multisegmental“:  $p = 0,718$  und „Fraktur“:  $p = 0,267$ ).



**Abbildung 40:** Druckschmerz ISG bezogen auf die  $PI - LL$  Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

### 3.4.2 Zusammenhang zwischen $LL = PI \pm 10$ und Reklinationsschmerz

Eine Fragestellung der klinischen Untersuchung war das Vorhandensein eines Reklinationsschmerzes postoperativ in Zusammenhang mit der Lendenlordose.

Bei einer Gesamtzahl von 63 Studienteilnehmern gaben 46,0% (29/63) Schmerzen bei der Reklination an, 54,0% (34/63) nicht. Werden die Probanden innerhalb und außerhalb des Intervalls  $LL = PI \pm 10$  unterteilt, erkennt man, dass 42,9% (15/35), die sich innerhalb des Intervalls befanden, Reklinationsschmerzen angaben, 57,1% (20/35) hingegen nicht. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren es 50,0% (14/28), die Schmerzen aufwiesen, die andere Hälfte dagegen nicht.

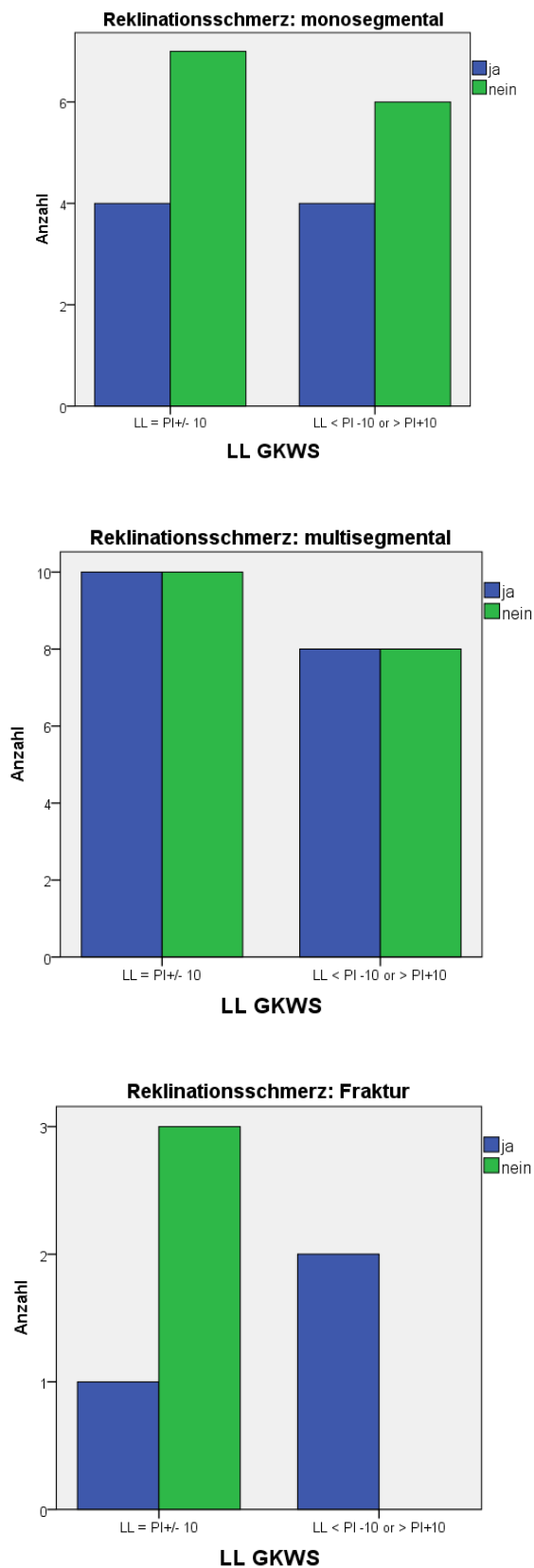
Eine weitere Gliederung in die bekannten Untergruppen ergab folgende Zahlen:

„monosegmental“: 4 von 11 (36,4%), die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, hatten postoperativ Reklinationsschmerzen, 7 von 11 (63,6%) hingegen nicht. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren es 4 von 10 (40,0%), die Schmerzen angaben, 6 von 10 (60,0%) nicht.

„multisegmental“: innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  klagten 10 von 20 (50,0%) Personen über diese Schmerzen, die andere Hälfte nicht. Außerhalb des gewünschten Intervalls äußerten 8 von 16 (50,0%) Schmerzen bei der Reklination, die andere Hälfte dagegen nicht.

„Fraktur“: 1 von 4 (25,0%) Probanden, dessen Lendenlordose sich innerhalb des gewünschten Bereiches befand, hatte Beschwerden, 3 von 4 (75,0%) nicht. 2 von 2 (100,0%) Studienteilnehmern, die außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren, bemerkten ebenfalls diese Schmerzen.

Eine statistische Signifikanz konnte bei keiner der angegebenen Gruppen gezeigt werden („gesamt“:  $p = 0,572$  „monosegmental“:  $p = 0,864$  „multisegmental“:  $p = 1,000$  „Fraktur“:  $p = 0,083$ ).



**Abbildung 41:** Reklinationsschmerz bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

### 3.4.3 Zusammenhang zwischen $LL = PI \pm 10$ und Finger – Boden – Abstand (FBA)

Zusätzlich wurde überprüft, wie groß der Finger – Boden – Abstand bei den Studienteilnehmern in der Nachuntersuchung war und ob die Ausprägung der Lendenlordose Einfluss auf diesen haben könnte. Dabei wurden wieder 3 mögliche Kategorien angegeben: „< 10 cm“ – „> 10 cm“ – „nicht möglich“.

Bei 28,6% (18/63) blieb der FBA „< 10 cm“, die restlichen 69,8% (44/63) erreichten einen FBA „> 10 cm“. Bei 1,6% (1/63) war diese Untersuchung „nicht möglich“. Innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  blieb der Abstand bei 28,6% (10/35) der Personen „< 10 cm“, bei 71,4% (25/35) „> 10 cm“. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  schafften 28,6% (8/28) der Probanden einen FBA „< 10 cm“, „> 10 cm“ waren es 67,9% (19/28) und bei 3,6% (1/28) war diese Übung „nicht möglich“.

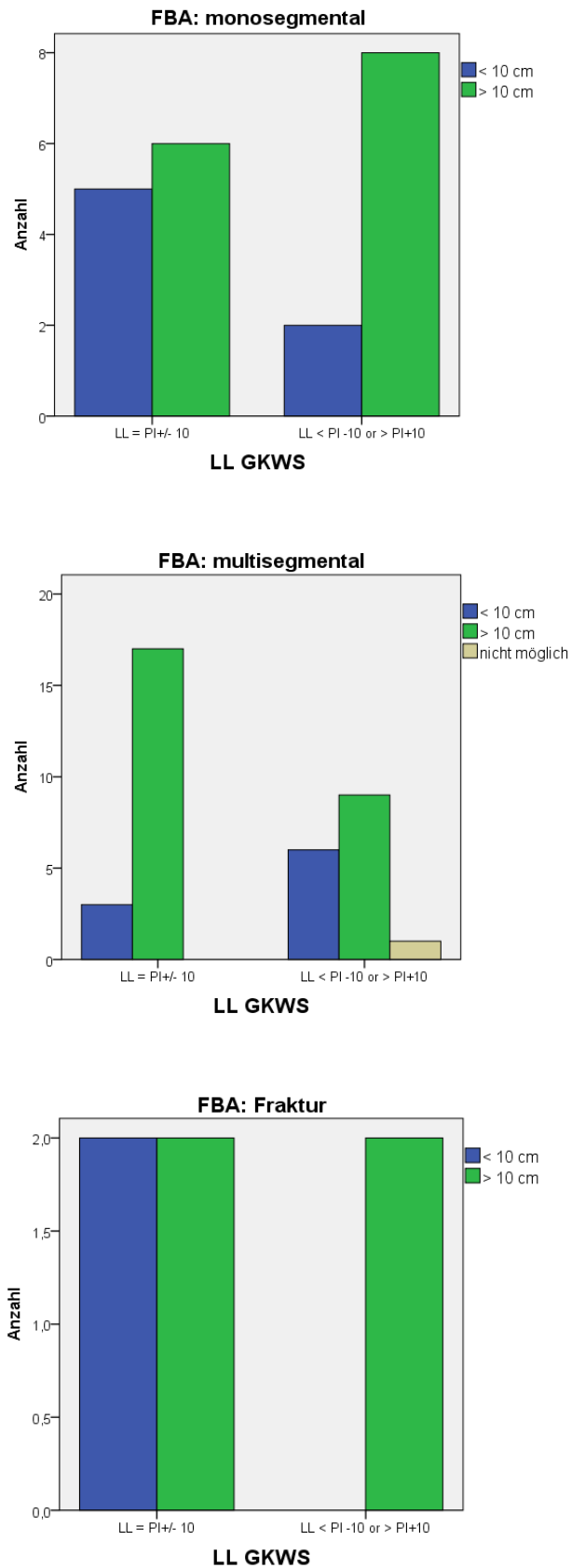
Die weitere Einteilung in die Untergruppen ergab folgende Zahlen:

„monosegmental“: 5 von 11 (45,5%), die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, erreichten einen FBA „< 10 cm“, bei 6 von 11 (54,5%) Personen blieb dieser „> 10 cm“. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren es 2 von 10 (20,0%), bei denen der Abstand „< 10 cm“ geschafft wurde, bei den restlichen 8 von 10 (80,0%) blieb er „> 10 cm“.

„multisegmental“: innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  konnten 3 von 20 (15,0%) Personen einen FBA „< 10 cm“ erreichen, bei 17 von 20 (85,0%) war nur ein FBA „> 10 cm“ möglich. Außerhalb des gewünschten Intervalls erzielten 6 von 16 (37,5%) einen Abstand „< 10 cm“, 9 von 16 (56,3%) „> 10 cm“ und bei 6,3% (1/16) war die Untersuchung „nicht möglich“.

„Fraktur“: 2 von 4 (50,0%) Probanden, deren Lendenlordosen sich innerhalb des gewünschten Bereiches befanden, erreichten einen FBA „< 10 cm“, die andere Hälfte einen FBA „> 10 cm“. 2 von 2 (100,0%) Studienteilnehmern, die außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren, konnten nur einen FBA „> 10 cm“ ausführen.

Eine statistische Signifikanz konnte bei keiner der angegebenen Gruppen gezeigt werden („gesamt“:  $p = 0,528$  „monosegmental“:  $p = 0,217$  „multisegmental“:  $p = 0,131$  „Fraktur“:  $p = 0,221$ ).



**Abbildung 42:** FBA bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

### 3.5 Psychologische Tests

Um den Einfluss der Schmerzen auf die Psyche zu zeigen, wurde der DASS – Test in diesen Fragebogen miteinbezogen. Mithilfe des Oswestry Disability Index (ODI) konnten die möglichen Auswirkungen der Beschwerden auf die Lebensqualität erfasst werden.

#### 3.5.1 Die Depressions – Angst – Stress – Skala (DASS) bezogen

auf  $LL = PI \pm 10$

Sie wird als Hilfsmittel sowohl bei schmerzgeplagten Patienten als auch bei Personen, deren Probleme nicht schmerzbedingt sind, herangezogen, um das Ausmaß einer Belastung mit depressiven, ängstlichen und/ oder stressbezogenen Merkmalen zu erkennen.

##### 3.5.1.1 DASS Depression

Von insgesamt 63 Probanden zeigten 23,8% (15/63) eine „erhöhte Wahrscheinlichkeit depressive Merkmale“ zu entwickeln, 76,2% (48/63) hingegen nicht. Innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren es 20,0% (7/15), die depressive Eigenschaften aufwiesen, 80,0% (28/35) dagegen nicht. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  hatten 28,6% (8/28) depressive Anzeichen, 71,4% (20/28) hingegen nicht.

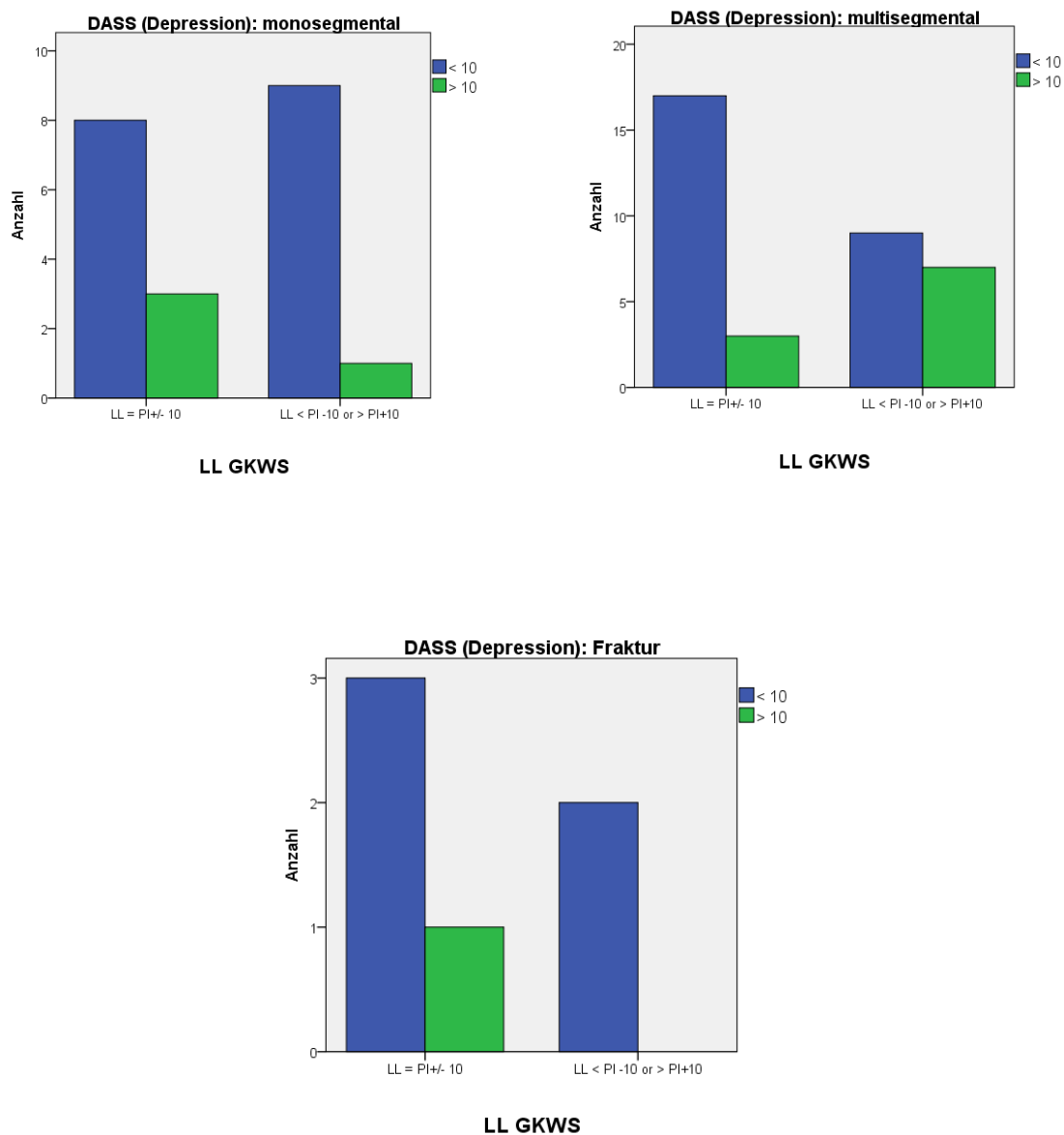
Die Unterteilung in die jeweiligen Untergruppen ergab folgende Resultate:

„monosegmental“: Innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  zeigten 3 von 11 Personen (27,3%) depressive Merkmale auf, 8 von 11 (72,7%) dagegen nicht. Außerhalb des gewünschten Intervalls war es 1 von 10 (10,0%), bei dem eine depressive Neigung vorhanden sein könnte, bei 9 von 10 (90,0%) nicht.

„multisegmental“: 3 von 20 Probanden (15,0%), die sich innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  befanden, wiesen depressive Merkmale auf, 17 von 20 (85,0%) hingegen nicht. Außerhalb des gewünschten Bereiches waren es 7 von 16 Studienteilnehmern (43,8%), bei denen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Depression aufgezeigt werden konnte, bei den restlichen 9 von 16 (56,3%) dagegen nicht.

„Fraktur“: Innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  konnte man bei 1 von 4 Personen (25,0%) depressive Anzeichen erkennen, bei den restlichen 3 von 4 (75,0%) nicht. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren 2 von 2 (100,0%) ohne depressive Merkmale.

Eine statistische Signifikanz konnte bei keiner der Gruppen gezeigt werden („gesamt“  $p = 0,427$ ; „monosegmental“  $p = 0,314$ ; „multisegmental“  $p = 0,056$ ; „Fraktur“  $p = 0,439$ ).



**Abbildung 43:** DASS (Depression) bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

### 3.5.1.2 DASS Angst

Bei einer Gesamtzahl von weiterhin 63 Personen zeigte sich, dass 19,0% (12/63) vermehrt Angst verspürten, 81,0% (51/63) hingegen nicht. Innerhalb der Formel  $LL = PI \pm 10$  hatten wohl 14,3% (5/35) der Studienteilnehmer ängstliche Gefühle, 85,7% (30/35) dagegen nicht. Außerhalb des Intervalls  $LL = PI \pm 10$  waren es 25,0% (7/28), die durch die Umstände mehr Angst hatten, 75,0% (21/28) nicht.

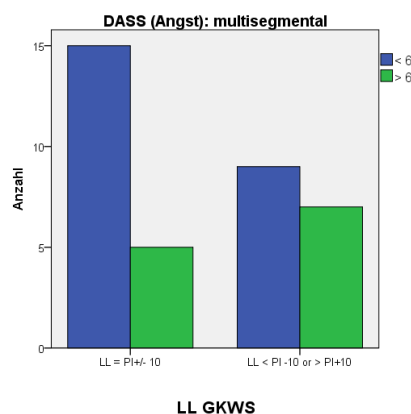
Werden die einzelnen Untergruppen miteinander verglichen, erhält man folgende Ergebnisse:

„monosegmental“: Innerhalb der Gleichung  $LL = PI \pm 10$  entwickelten 11 von 11 Probanden (100,0%) keine vermehrten Angstgefühle. Außerhalb des Intervalls waren es 10 von 10 Personen (100,0%), die ebenfalls keine verstärkte Angst aufwiesen.

„multisegmental“: 5 von 20 Personen (25,0%), die die Formel  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, gaben zunehmend Angstgefühle an, 15 von 20 (75,0%) dagegen nicht. 7 von 16 (43,8%), die außerhalb des gewünschten Bereiches  $LL = PI \pm 10$  waren, hatten ebenfalls mehr Angst, 9 von 16 (56,3%) hingegen nicht.

„Fraktur“: Innerhalb der Gleichung  $LL = PI \pm 10$  entwickelten 4 von 4 Studienteilnehmer (100,0%) keine vermehrten Angstgefühle. Außerhalb des Intervalls waren es 2 von 2 Personen (100,0%), die ebenfalls keine verstärkte Angst aufwiesen.

Eine statistische Signifikanz konnte nicht erzielt werden („gesamt“  $p = 0,282$ ; „multisegmental“  $p = 0,236$ ; für „monosegmental“ sowie „Fraktur“ konnten keine Statistiken berechnet werden).



**Abbildung 44:** DASS (Angst) bezogen auf die PI – LL Diskrepanz Gruppe „multisegmental“



### 3.5.1.3 DASS Stress

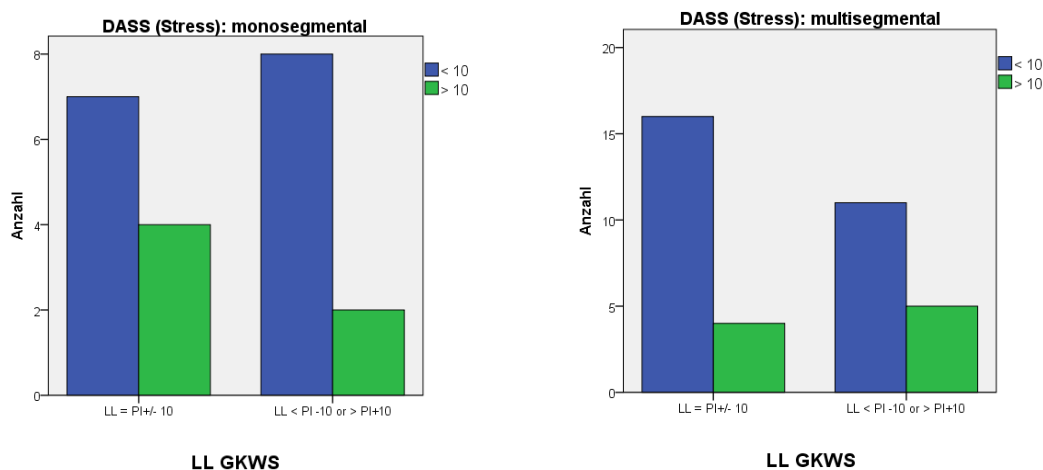
23,8% (15/63) der Gesamtheit wiesen stressbezogene Merkmale auf, 76,2% (48/63) dagegen nicht. Innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren 22,9% (8/35) der Patienten wegen der Belastung gestresst, 77,1% (27/35) dagegen nicht. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  fühlten sich 25,0% (7/28) mehr gestresst, die restlichen 75,0% (21/28) nicht.

„monosegmental“: 4 von 11 Personen (36,4%), die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, waren aufgrund der Umstände stärker gestresst, 7 von 11 (63,6%) hingegen nicht. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren 2 von 10 Probanden (20,0%) wohl mehr Stress ausgesetzt, die restlichen 8 von 10 (80,0%) dagegen nicht.

„multisegmental“: Innerhalb der Formel  $LL = PI \pm 10$  fühlten sich 4 von 20 Studienteilnehmer (20,0%) mehr gestresst, die restlichen 16 von 20 (80,0%) nicht. Außerhalb des gewünschten Intervalls waren es 5 von 16 der Patienten (31,3%), die stressbezogene Merkmale aufwiesen, 11 von 16 (68,8%) hingegen nicht.

„Fraktur“: Innerhalb der Gleichung  $LL = PI \pm 10$  fühlten sich 4 von 4 Personen (100,0%) aufgrund ihrer Situation nicht stärker gestresst. Außerhalb des Intervalls waren es 2 von 2 Personen (100,0%), die ebenfalls kein verstärktes Stressgefühl aufwiesen.

Auch in dieser Fragestellung konnte keine statistische Signifikanz ermittelt werden („gesamt“  $p = 0,843$ ; „monosegmental“  $p = 0,407$ ; „multisegmental“  $p = 0,439$ ; für „Fraktur“ konnte keine Statistik berechnet werden).



**Abbildung 45:** DASS (Stress) bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental)

### 3.5.2 Oswestry Disability Index (ODI) bezogen auf $LL = PI \pm 10$

In welchem Ausmaß die Lebensqualität von den Rückenschmerzen beeinträchtigt bzw. beeinflusst wurde, konnte mithilfe dieses Tests erfasst werden. Je nach errechnetem Wert, wurden die Patienten in folgende Einteilung gegliedert: 0 – 20%: minimale Behinderung; 21 – 40%: mäßige Behinderung; 41 – 60%: starke Behinderung; 61 – 80%: invalidisierend; 81 – 100%: bettlägerig.

Von insgesamt 63 Patienten gaben 14,3% (9/63) eine „minimale Behinderung“ an, 34,9% (22/63) eine „mäßige Behinderung“ und 31,7% (20/63) eine „starke Behinderung“ an. 17,5% (11/63) des Gesamtkollektivs bewerteten ihre Beeinträchtigung als „invalidisierend“ und 1,6% (1/63) war „bettlägerig“. Innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  gaben 20% (7/35) eine „minimale Behinderung“ an, 34,3% (12/35) eine „mäßige Behinderung“, 31,4% (11/35) eine „starke Behinderung“ an und 14,3% (5/35) fühlten sich „invalide“. Außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  verspürten 7,1% (2/28) eine „minimale Behinderung“, 35,7% (10/28) eine „mäßige Behinderung“, 32,1% (9/28) eine „starke Behinderung“, 21,4% (6/28) beurteilten ihre Beeinträchtigung als „invalidisierend“ und 3,6% (1/28) war „bettlägerig“.

Bei den bekannten Untergruppen wurden folgende Zahlen ermittelt:

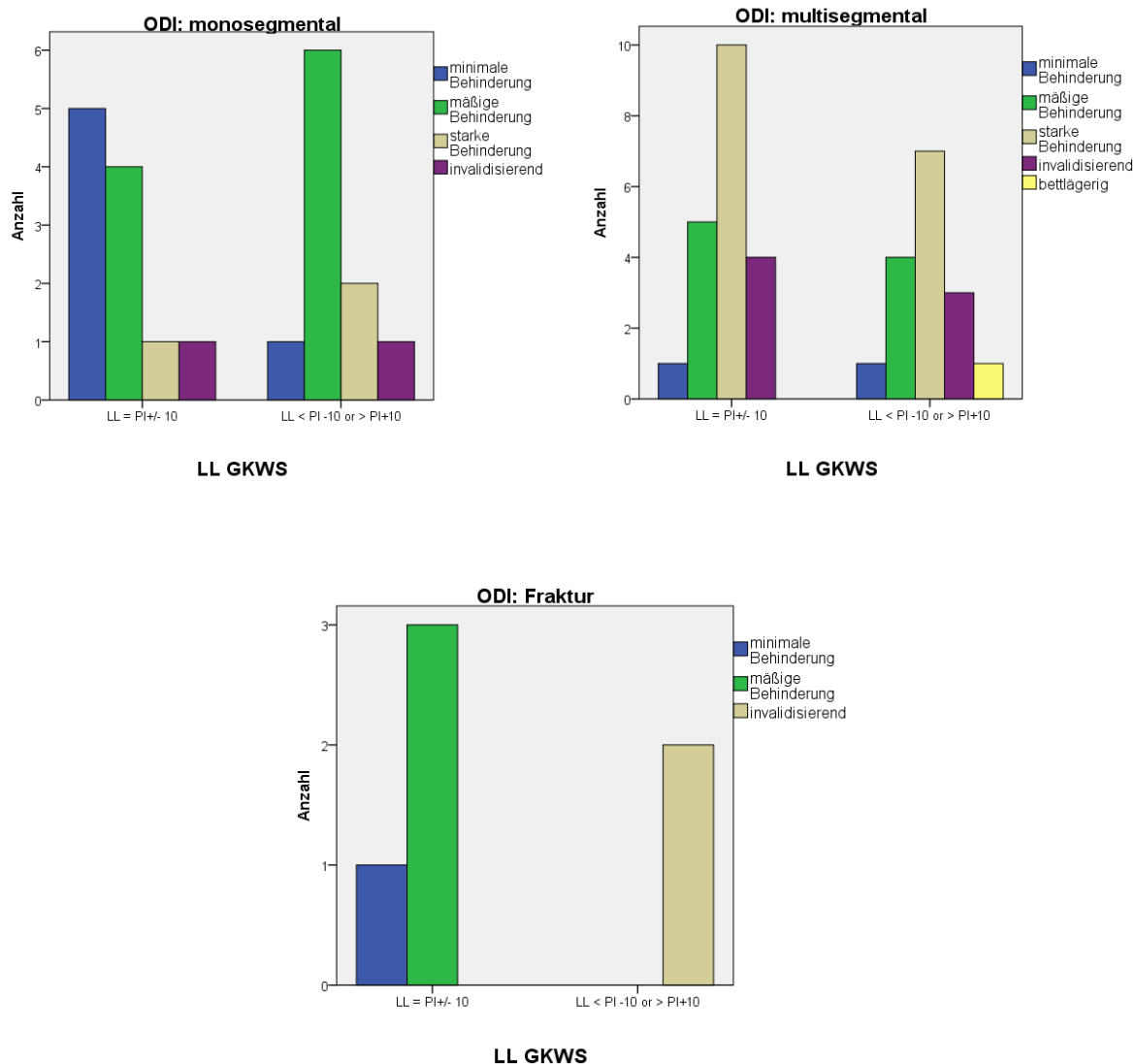
„monosegmental“: Von den insgesamt 11 Personen, die die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten, führten 5 davon (45,5%) eine „minimale Behinderung“ an, 4 von 11 (36,4%) eine „mäßige Behinderung“ und jeweils 1 von 11 (9,1%) eine „starke Behinderung“ bzw. „invalidisierend“. Von insgesamt 10 Patienten, die die Formel  $LL = PI \pm 10$  nicht erfüllten, gab 1 davon (10,0%) eine „minimale Behinderung“ an, 6 von 10 (60,0%) eine „mäßige Behinderung“, 2 von 10 (20,0%) eine „starke Behinderung“ an und 1 von 10 (10,0%) bewertete seine Beeinträchtigung als „invalidisierend“.

„multisegmental“: 1 von 20 (5,0%) der Studienteilnehmer, die innerhalb des Intervalls  $LL = PI \pm 10$  sich befanden, gab eine „minimale Behinderung“ an, 5 von 20 (25,0%) eine „mäßige Behinderung“ und 10 von 20 (50,0%) eine „starke Behinderung“ an. Als „invalidisierend“ empfanden 4 von 20 (20,0%) der Teilnehmer ihre Beeinträchtigung. Von den 16 Personen, die außerhalb des gewünschten Bereiches  $LL = PI \pm 10$  lagen, führte 1 davon (6,3%) eine „minimale Behinderung“ an, 4 von 16 (25,0%) eine „mäßige Behinderung“ und 7 von 16 (43,8%) eine „starke Behinderung“ an.

3 von 16 Personen (18,8%) bezeichneten ihre Situation als „invalidisierend“ und 1 von 16 (6,3%) war „bettlägerig“.

**„Fraktur“:** Innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  gab 1 von 4 (25,0%) eine „minimale Behinderung“ an und die restlichen 3 von 4 (75,0%) eine „mäßige Behinderung“. Außerhalb des Intervalls  $LL = PI \pm 10$  bezeichneten 2 von 2 Personen (100,0%) ihre Situation als „invalidisierend“.

Eine statistische Signifikanz konnte nicht gezeigt werden („monosegmental“  $p = 0,197$ ; „multisegmental“  $p = 0,863$ ; „Fraktur“  $p = 0,133$ ).



**Abbildung 46:** ODI bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

### 3.5.3 Die Depressions – Angst – Stress – Skala (DASS) bezogen auf SVA

#### 3.5.3.1 DASS Depression

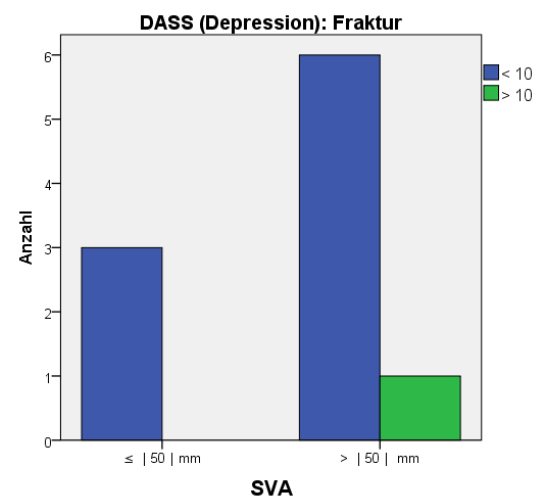
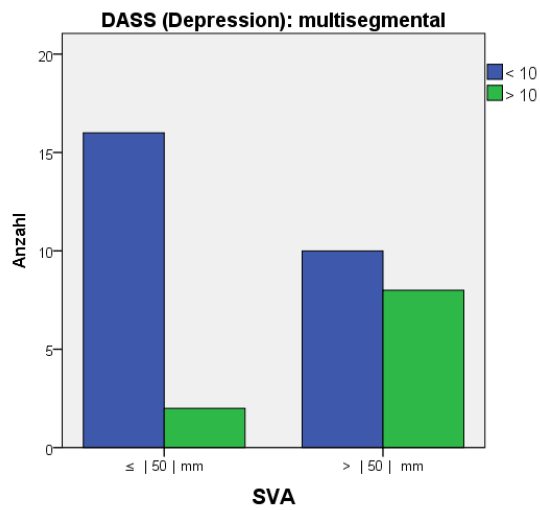
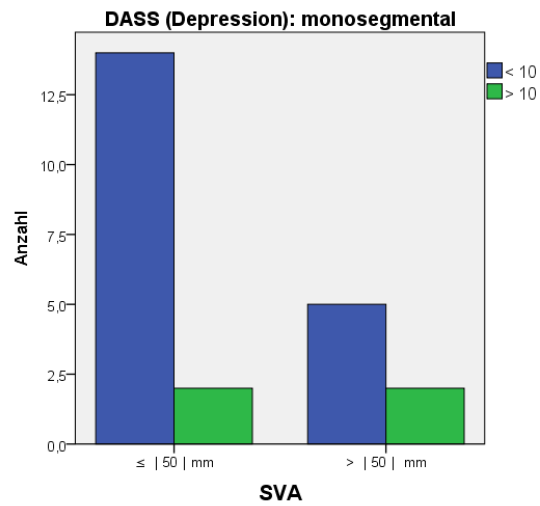
Von insgesamt 69 Probanden zeigten 21,7% (15/69) eine „erhöhte Wahrscheinlichkeit depressive Merkmale“ zu entwickeln, 78,3% (54/69) hingegen nicht. Bei einer SVA < 50mm waren es 10,8% (4/37), die depressive Eigenschaften aufwiesen, 89,2% (33/37) dagegen nicht. Bei einer SVA > 50mm hatten 34,4% (11/32) depressive Anzeichen, 65,6% (21/32) hingegen nicht.

Die Unterteilung in die jeweiligen Untergruppen ergab folgende Resultate:

„monosegmental“: Bei einer SVA < 50mm zeigten 2 von 16 Personen (12,5%) depressive Merkmale auf, 14 von 16 (87,5%) dagegen nicht. Bei einer SVA > 50mm waren es 2 von 7 (28,6%), bei denen eine depressive Neigung vorhanden sein könnte, bei 5 von 7 (71,4%) nicht.

„multisegmental“: 2 von 18 Probanden (11,1%), bei denen sich die SVA < 50mm befand, wiesen depressive Merkmale auf, 16 von 18 (88,9%) hingegen nicht. Bei einer SVA > 50mm waren es 8 von 18 Studienteilnehmern (44,4%), bei denen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Depression aufgezeigt werden konnte, bei den restlichen 10 von 18 (55,6%) dagegen nicht.

„Fraktur“: Bei einer SVA < 50mm waren 3 von 3 Personen (100,0%) ohne depressive Merkmale. Bei einer SVA > 50mm konnte man bei 1 von 7 (14,3%) Personen depressive Anzeichen erkennen, bei den restlichen 6 von 7 (85,7%) hingegen nicht. Eine statistische Signifikanz konnte bei der Gruppe „multisegmental“ gezeigt werden ( $p = 0,026$ ) („gesamt“  $p = 0,018$ ; „monosegmental“  $p = 0,349$ ; „Fraktur“  $p = 0,490$ ).



**Abbildung 47:** DASS (Depression) bezogen auf die SVA im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

### 3.5.3.2 DASS Angst

Bei einer Gesamtzahl von weiterhin 69 Personen zeigte sich, dass 17,4% (12/69) vermehrt Angst verspürten, 82,6% (57/69) hingegen nicht. Bei einer SVA < 50mm hatten wohl 10,8% (4/37) der Studienteilnehmer ängstliche Gefühle, 89,2% (33/37) dagegen nicht. Bei einer SVA > 50mm waren es 25,0% (8/32), die durch die Umstände mehr Angst hatten, 75,0% (24/32) nicht.

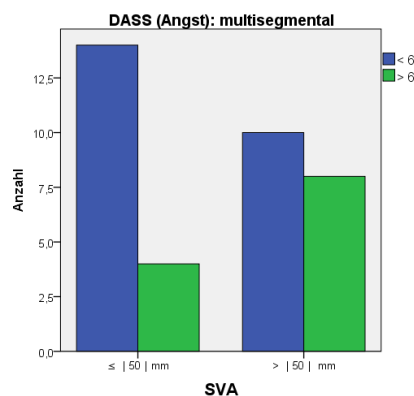
Werden die einzelnen Untergruppen miteinander verglichen, erhält man folgende Ergebnisse:

„monosegmental“: Bei einer SVA < 50mm entwickelten 16 von 16 Probanden (100,0%) keine vermehrten Angstgefühle. Bei einer SVA > 50mm waren es 7 von 7 Personen (100,0%), die ebenfalls keine verstärkte Angst aufwiesen.

„multisegmental“: 4 von 18 Personen (22,2%), die eine SVA < 50mm aufwiesen, gaben zunehmend Angstgefühle an, 14 von 18 (77,8%) dagegen nicht. 8 von 18 (44,4%), die eine SVA > 50mm hatten, hatten ebenfalls mehr Angst, 10 von 18 (55,6%) hingegen nicht.

„Fraktur“: Bei einer SVA < 50mm entwickelten 3 von 3 Studienteilnehmer (100,0%) keine vermehrten Angstgefühle. Bei einer SVA > 50mm waren es 7 von 7 Personen (100,0%), die ebenfalls keine verstärkte Angst aufwiesen.

Eine statistische Signifikanz konnte nicht erzielt werden („gesamt“  $p = 0,121$ ; „multisegmental“  $p = 0,157$ ; für „monosegmental“ sowie „Fraktur“ konnten keine Statistiken berechnet werden).



**Abbildung 48:** DASS (Angst) bezogen auf die SVA Gruppe „multisegmental“

### 3.5.3.3 DASS Stress

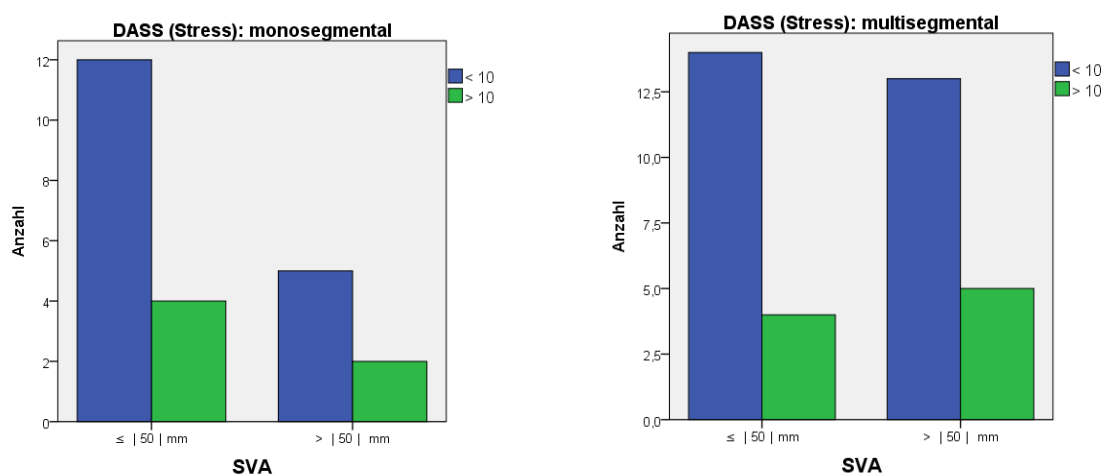
21,7% (15/69) der Gesamtheit wiesen stressbezogene Merkmale auf, 78,3% (54/69) dagegen nicht. Bei einer SVA < 50mm waren 21,6% (8/37) der Patienten wegen der Belastung gestresst, 78,4% (29/37) dagegen nicht. Bei einer SVA > 50mm fühlten sich 21,9% (7/32) mehr gestresst, die restlichen 78,1% (25/32) nicht.

„monosegmental“: 4 von 16 Personen (25,0%), die eine SVA < 50mm aufwiesen, waren aufgrund der Umstände stärker gestresst, 12 von 16 (75,0%) hingegen nicht. Bei einer SVA > 50mm waren 2 von 7 Probanden (28,6%) wohl mehr Stress ausgesetzt, die restlichen 5 von 7 (71,4%) dagegen nicht.

„multisegmental“: Bei einer SVA < 50mm fühlten sich 4 von 18 Studienteilnehmer (22,2%) mehr gestresst, die restlichen 14 von 18 (77,8%) nicht. Bei einer SVA > 50mm waren es 5 von 18 der Patienten (27,8%), die stressbezogene Merkmale aufwiesen, 13 von 18 (72,2%) hingegen nicht.

„Fraktur“: Bei einer SVA < 50mm fühlten sich 3 von 3 Personen (100,0%) aufgrund ihrer Situation nicht stärker gestresst. Bei einer SVA > 50mm waren es 7 von 7 Personen (100,0%), die ebenfalls kein verstärktes Stressgefühl aufwiesen.

Auch in dieser Fragestellung konnte keine statistische Signifikanz ermittelt werden („gesamt“  $p = 0,980$ ; „monosegmental“  $p = 0,858$ ; „multisegmental“  $p = 0,700$ ; für „Fraktur“ konnte keine Statistik berechnet werden).



**Abbildung 49:** DASS (Stress) bezogen auf die SVA im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental)

### 3.5.4 Oswestry Disability Index (ODI) bezogen auf SVA

Von insgesamt 69 Patienten gaben 17,4% (12/69) eine „minimale Behinderung“ an, 33,3% (23/69) eine „mäßige Behinderung“ und 31,9% (22/69) eine „starke Behinderung“ an. 15,9% (11/69) des Gesamtkollektivs bewerteten ihre Beeinträchtigung als „invalidisierend“ und 1,4% (1/69) war „bettlägerig“. Bei einer SVA < 50mm gaben 24,3% (9/37) eine „minimale Behinderung“ an, 40,5% (15/37) eine „mäßige Behinderung“, 29,7% (11/37) eine „starke Behinderung“ an und 5,4% (2/37) fühlten sich „invalide“. Bei einer SVA > 50mm verspürten 9,4% (3/32) eine „minimale Behinderung“, 25,0% (8/32) eine „mäßige Behinderung“, 34,4% (11/32) eine „starke Behinderung“, 28,1% (9/32) beurteilten ihre Beeinträchtigung als „invalidisierend“ und 3,1% (1/32) war „bettlägerig“.

Bei den bekannten Untergruppen wurden folgende Zahlen ermittelt:

„monosegmental“: Bei einer SVA < 50mm führten 6 von den insgesamt 16 Personen (37,5%) eine „minimale Behinderung“ an, 6 von 16 (37,5%) eine „mäßige Behinderung“, 3 von 16 (18,8%) eine „starke Behinderung“ und 1 von 16 (6,3%) fühlte sich dadurch „invalide“. Bei einer SVA > 50mm gab 1 von insgesamt 7 Patienten (14,3%) eine „minimale Behinderung“ an, 4 von 7 (57,1%) eine „mäßige Behinderung“ und jeweils 1 von 7 (14,3%) bewertete seine Beeinträchtigung als eine „starke Behinderung“ bzw. „invalidisierend“.

„multisegmental“: 2 von 18 (11,1%) der Studienteilnehmer, bei denen die SVA < 50mm lag, gaben eine „minimale Behinderung“ an, 7 von 18 (38,9%) eine „mäßige Behinderung“ und 8 von 18 (44,4%) eine „starke Behinderung“ an. Als „invalidisierend“ empfand 1 von 18 (5,6%) der Teilnehmer dessen Beeinträchtigung. Von den 18 Personen, deren SVA > 50mm lag, führten 2 davon (11,1%) eine „mäßige Behinderung“ an und 9 von 18 (50,0%) eine „starke Behinderung“ an. 6 von 18 Personen (33,3%) bezeichneten ihre Situation als „invalidisierend“ und 1 von 18 (5,6%) war „bettlägerig“.

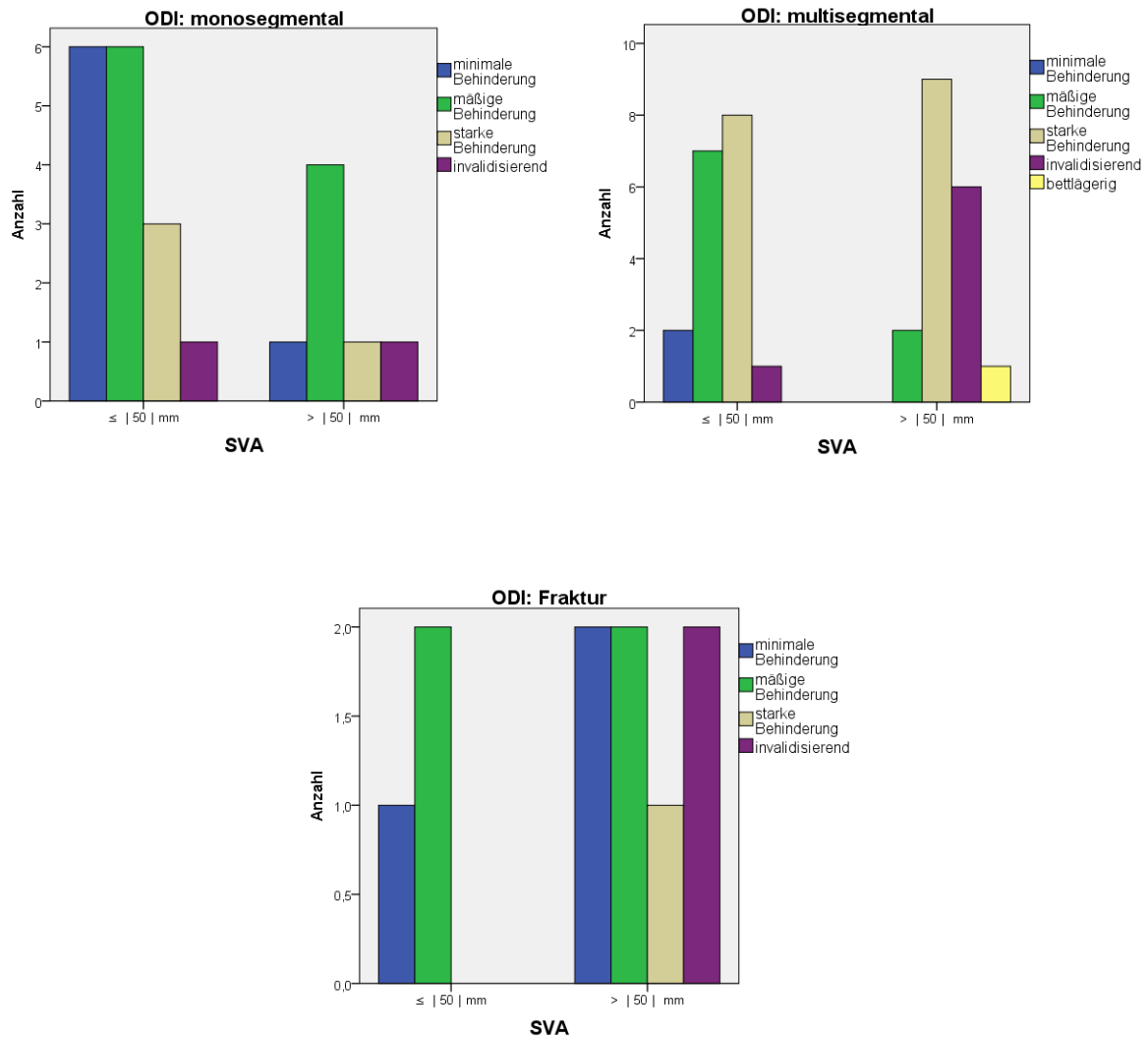
„Fraktur“: Bei einer SVA < 50mm gab 1 von 3 (33,3%) eine „minimale Behinderung“ an und die restlichen 2 von 3 (66,7%) eine „mäßige Behinderung“. Bei einer SVA > 50mm bezeichneten jeweils 2 von 7 Personen (28,6%) ihre Situation als „minimale/ mäßige



## Ergebnisse

Belastung“ bzw. „invalidisierend“. 1 von 7 (14,3%) Personen empfand ihre Situation als eine „starke Behinderung“.

Eine statistische Signifikanz konnte in der Gruppe „multisegmental“ gezeigt werden ( $p = 0,004$ ) („monosegmental“  $p = 0,452$ ; „Fraktur“  $p = 0,517$ ).



**Abbildung 50:** ODI bezogen auf die SVA im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur)

## 4 Diskussion

### 4.1 Anthropometrische Daten

ICD10 – M54 – die Diagnose „Rückenschmerzen“ ist und bleibt in Deutschland eine Volkskrankheit. Dies bestätigen auch neueste Daten des Statistischen Bundesamtes: im Jahr 2010 waren 162.223 Menschen wegen Rückenbeschwerden in stationärer Behandlung, 2017 waren es bereits 213.332, ein Anstieg von rund 31,5%. Insgesamt waren Frauen deutlich häufiger betroffen als Männer, am ehesten im Alter zwischen 50 und 80 Jahren. Auch die Zahl der durchgeführten Spondylodesen konnte eine Zunahme von ca. 6,7% verzeichnen. Während im Jahr 2010 bereits 66.986 Patienten sich einer Versteifung der Wirbelsäule unterzogen, waren es 2017 71.452 Personen, im Jahr 2018 blieb die Zahl annähernd stabil (71.756 Spondylodesen).

Diese Zunahme spiegelt sich auch in den Behandlungskosten wider: im Jahr 2010 beliefen sich die Kosten bei Frauen auf das 1,36 – fache der Kosten der Männer in Bezug auf Rückenschmerzen, 2015 bereits auf das 1,60 – fache (47,48).

Wie bereits aus den angegebenen Daten ersichtlich, sind statistisch gesehen mehr Frauen als Männer von Rückenschmerzen betroffen. Das teilnehmende Patientenkollektiv dieser Studie gliederte sich in 48 Frauen und 34 Männer. Eine ähnliche Verteilung zeigte auch die Studie von Werner et al. (2010), die ebenfalls mehr Frauen als Männer aufwies. In dieser Studie wurden sowohl radiologische als auch klinische Ergebnisse von Patienten nach mono- bzw. bisegmentaler Spondylodesen verglichen (49).

Das durchschnittliche Alter der Probanden belief sich auf 62,6 Jahre und liegt im Gegensatz zur Studie von Werner et al. über dessen Durchschnittsalter von 56,4 Jahren. Vergleichbare Werte konnten in der Studie von Holzapfel et al. (2008) gefunden werden, deren stärkste Verteilung der Patienten im Alter zwischen 60 – 69 Jahren lag. Dabei wurden Langzeitergebnisse nach ein- bzw. mehrsegmentaler Spondylodesen verglichen (50).

Der durchschnittliche BMI – Wert lag in dieser Studie bei 29,62 kg/ m<sup>2</sup>. Vergleichbar dazu sind die Ergebnisse der Studie Werner et al., dessen BMI – Werte im Mittel bei 29,27 kg/ m<sup>2</sup> lagen (49).

Das Patientenkollektiv dieser Studie wurde nach der Anzahl der versteiften Segmente in Gruppen gegliedert (vgl. Kapitel 3.1.1, S. 35). Mit 28,0% der monosegmentalen und 46,3% der multisegmentalen Versteifungen konnte ähnlich wie in der Studie von Holzapfel et al. gezeigt werden, dass die teilgenommenen Probanden prozentual mehr multi- als monosegmentale Spondylodesen erhalten haben (50).

### 4.2 Parameter der Sagittalen Balance

Wie wichtig ein gutes Zusammenspiel zwischen den spinopelvinen Parametern für das Erreichen der Sagittalen Balance ist, insbesondere um postoperativ zufriedenstellende Ergebnisse zu erreichen, wurde bereits in mehreren Studien ausführlich bewiesen (6,16,17,20). Sowohl die globale Lendenlordose (LL) als auch die Sagittal Vertical Axis (SVA) sind zentrale Punkte dafür. Für eine grobe Einschätzung der Lendenlordose wird die Formel  $LL = PI \pm 10$  herangezogen. In unserer Studie zeigte sich, dass postoperativ von insgesamt 63 Probanden 35 (55,56%) davon die Gleichung  $LL = PI \pm 10$  erfüllten und 28 (44,44%) davon außerhalb des gewünschten Intervalls waren. Man erkennt, dass nur geringfügig mehr Patienten durch eine Versteifung der Wirbelsäule das gewünschte Ausmaß der globalen Lendenlordose erreicht haben. Auch innerhalb der Untergruppen blieb die Verteilung annähernd gleich, ohne relevante Signifikanz. In der Studie von Leveque et al. konnte ebenfalls eine minimale postoperative Verbesserung der Lendenlordose erzielt werden: bei einem Patientenkollektiv von 578 Personen waren präoperativ 173 (30,0%) davon außerhalb des Intervalls ( $LL \geq PI \pm 10$ ), postoperativ waren es 161 (28,0%) (51). Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass in unserer Studie keine präoperativen Werte vorhanden waren. Dementsprechend kann nicht eindeutig gesagt werden, ob präoperativ nicht mehr Patienten außerhalb der Gleichung  $LL = PI \pm 10$  waren und die Anzahl der postoperativ „verbesserten“ Lendenlordosen dadurch angestiegen wäre. Die Meinungen bezüglich postoperativer Verbesserung der globalen Lendenlordose nach kurz- und langstreckigen Fusionen, sind zwiegespalten.

In der Studie von Cho et al. konnten, wie in unserer Studie, keine signifikant relevanten Unterschiede bezüglich der Lendenlordose zwischen kurz- und langstreckigen Fusionen aufgezeigt werden (52). Die Ergebnisse der Studie Liu et al. konnten dies jedoch widerlegen, in der bei langstreckigen Fusionen die Lendenlordose signifikant gesteigert werden konnte (53).

Roussouly et al. hat die globale Lendenlordose in einen oberen und unteren Abschnitt unterteilt, wobei der größte Anteil – annähernd 70% - zwischen L4 – S1 liegen soll (vgl. dazu Kapitel 1.3, S. 12). Dies konnte unter anderem auch durch die Studie von Jackson et al. bestätigt werden: bei insgesamt 200 Probanden wurden sowohl der Winkel der globalen Lordose als auch die Winkel der einzelnen Segmente gemessen; dabei zeigte sich, dass sich 2/3 der globalen Lordose im unteren Abschnitt der LL (L4 – S1) befanden (54). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Bernhardt et al. und Stagnara et al. (55,56). Auch in unserer Studie wurde der Anteil der unteren Lendenlordose berechnet und untersucht, wobei die Untergruppen „monosegmental“ bei durchschnittlich 52,78% und „multisegmental“ bei durchschnittlich 66,33% lagen, ohne statistische Relevanz. So kann am ehesten das Ergebnis der Gruppe „multisegmental“ mit den Resultaten der anderen Studien verglichen werden.

Die Sagittal Vertical Axis (SVA) dient zur groben Orientierung der Sagittalen Balance und spielt in der Planung bei operativen Eingriffen degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen eine entscheidende Rolle. Postoperative SVA – Werte < 50mm begünstigen das Erreichen einer physiologischen Haltung sowie der Sagittalen Balance (20). Von insgesamt 69 Probanden erreichten 37 (53,6%) SVA – Werte < 50mm, bei den restlichen 32 (46,4%) Personen war die SVA > 50mm. Zu einer vergleichbaren Verteilung kam auch die Studie von Radovanovic et al., in der bei einem Patientenkollektiv von 84 Personen 39 (46,4%) davon eine SVA < 50mm und 45 (53,6%) eine SVA > 50mm aufwiesen. Dabei wurde auch festgestellt, dass bei „multisegmentalen“ Spondylodesen die SVA – Werte häufiger > 50mm (15/20 Probanden) waren (57).

Unterschied man zwischen den Untergruppen in unserer Studie, waren bei den „monosegmentalen“ prozentual mehr SVA < 50mm als > 50mm (69,6% vs. 30,4%), bei „multisegmental“ war die SVA < 50mm und > 50mm in gleichen Anteilen vertreten (jeweils 50%), jedoch ohne Signifikanz.

Als vergleichbare Studie kann hier wieder Cho et al. herangezogen werden (52). Ein weiteres Mal widerlegen die Ergebnisse der Studie Liu et al. die Resultate von Cho et al., in der bei langstreckigen Fusionen nicht nur die Lendenlordose sondern auch die SVA signifikant verbessert werden konnte (53).

### 4.3 Fragebögen

#### 4.3.1 Allgemeiner Teil (BMI/ Alter/ Geschlecht)

Mithilfe der Numerischen Rating Skala (NRS) wurde die Schmerzintensität der Rücken- und Beinschmerzen sowohl prä- als auch postoperativ ermittelt. Anhand der Daten wurde untersucht, ob ein linearer Zusammenhang zwischen BMI/ Alter/ Geschlecht und den angegebenen Schmerzen besteht.

Im Allgemeinen wird ein hoher BMI als Risikofaktor für ein schlechteres peri- und postoperatives Outcome nach spinaler Fusion angesehen (58). Dies konnte in der Studie von Djurasovic et al. nicht bestätigt werden (59). In der vorliegenden Studie konnte lediglich bei der Gruppe „multisegmental“ präoperativ bezogen auf die Rückenschmerzen eine statistische Relevanz ( $p = 0,009$ ) gezeigt werden, postoperativ konnte in keiner der beiden Gruppen ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem BMI und den Schmerzen gezeigt werden (Rückenschmerzen „monosegmental“  $p = 0,070$ , „multisegmental“  $p = 0,988$ ), (Beinschmerzen „monosegmental“  $p = 0,328$ , „multisegmental“  $p = 0,058$ ).

Auch die Studie von Holzapfel et al. konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem BMI und den Rücken- bzw. Beinschmerzen finden ( $p = 0,06$ ), wobei hier nur die postoperativen Ergebnisse untersucht wurden (50).

Zu ähnlichen Ergebnissen kam man in dieser Studie auch bezüglich des Alters. Es konnte weder präoperativ noch postoperativ ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter und den Schmerzen im Bereich des Rückens bzw. der Beine erzielt werden (präoperative Rückenschmerzen „monosegmental“  $p = 0,719$ ; „multisegmental“  $p = 0,081$ ; präoperative Beinschmerzen („monosegmental“  $p = 0,159$ ; „multisegmental“  $p = 0,104$ ); (postoperative Rückenschmerzen („monosegmental“  $p = 0,835$ ; „multisegmental“  $p = 0,546$ ; postoperative Beinschmerzen („monosegmental“

$p = 0,865$ ; „multisegmental“  $p = 0,283$ ). Auch hier kann die Studie von Holzapfel et al. als vergleichbare Studie herangezogen werden ( $p = 0,15$ ) (50).

Die Annahme, dass geschlechtsspezifische Unterschiede bzgl. des klinischen Outcomes bestehen, wurde in mehreren klinischen Studien gezeigt. Ekman et al. berichtete, dass neben regelmäßiger Arbeit ( $p < 0,001$ ) auch das männliche Geschlecht ( $p = 0,004$ ) von besseren Ergebnissen nach lumbaler Fusion profitiere (60). In der retrospektiven Analyse von Gehrchen et al. erhielten 112 Patienten eine lumbale Fusion aufgrund isthmischer Spondylolisthesis. Dabei konnte ebenfalls gezeigt werden, dass Frauen ein schlechteres postoperatives Outcome im Vergleich zu den Männern aufwiesen ( $p = 0,012$ ) (61). In der Studie von Triebel et al. konnte diese Annahme jedoch widerlegt werden: in einem Kollektiv von 4780 Patienten (♂: 2251 und ♀: 2521), das eine lumbale Fusion erhalten hatte, konnte belegt werden, dass Frauen präoperativ deutlich mehr Rücken- ( $p = 0,002$ ) und Beinschmerzen ( $p < 0,001$ ) aufwiesen als Männer, sich die postoperativen Ergebnisse bzgl. Schmerzen jedoch nicht unterschieden bzw. sogar bessere Resultate ( $p < 0,01$ ) erzielten (62). In der vorliegenden Studie konnte zwar eine Schmerzreduktion durch die Operation bei beiden Geschlechtern erzielt werden, ein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen blieb dabei aus (Rückenschmerzen „monosegmental“:  $p = 0,143$ ; „multisegmental“:  $p = 0,750$ ) (Beinschmerzen „monosegmental“  $p = 0,159$ ; „multisegmental“:  $p = 0,138$ ). Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch die Studie von Holzapfel et al. ( $p = 0,54$ ) (50).

### 4.3.2 Schmerzveränderung

Dass man bei fortgeschrittener degenerativer Spondylolisthesis durch die operative Versorgung mittels lumbaler Fusion unter Berücksichtigung spinopelviner Parameter (u. a. SVA und PI – LL Mismatch) meist eine positive Schmerzveränderung im Sinne einer Verbesserung erzielt, konnte bereits in mehreren Studien bewiesen werden (16,20). Dabei macht es keinen Unterschied, welche Operationstechnik (ALIF/ PLIF/ TLIF) gewählt wird, bei gegebener Indikation kann mit jeder Technik eine Schmerzreduktion erreicht werden (63,64).

In der Studie von Lemcke et al. wurden 115 Patienten untersucht, die aufgrund lumbaler Instabilität mittels Spondylodese in PLIF oder ALIF – Technik operativ therapiert wurden. Dabei konnte anhand der VAS eine deutliche Schmerzreduktion von anfangs durchschnittlich 4,8 auf 2,6 Punkte erreicht werden, dies entsprach einer Verbesserung von fast 50% (63). Zu ähnlichen Ergebnissen kam die Studie von Quante et al., in der Patienten mit monosegmentaler degenerativer Spondylolisthesis und symptomatischem Anschlusssegment mittels TLIF – Technik operativ versorgt wurden. Es konnte auch in dieser Untersuchung eine signifikante Schmerzreduktion ( $p < 0,001$ ) erzielt werden (VAS 8,7 auf 3,1 entspricht einer Verbesserung von gerundet 64%) (64). In den beiden Studien wurde jedoch kein Bezug auf die spinopelvinen Parameter, insbesondere der PI – LL Diskrepanz genommen. Laut der Studie von Ahlquist et al. kann die PI – LL Diskrepanz mittels ALIF – Technik im Vergleich zu LLIF/ TLIF und PLF am besten verbessert werden, bezogen auf monosegmentale lumbale Fusionen (65). Eine signifikante Korrelation zwischen der PI – LL Diskrepanz und postoperativer Schmerzen konnte die Studie von Aoki et al. hervorbringen. Es wurde dabei festgestellt, dass ein größeres Ungleichgewicht von PI – LL zu schlechteren postoperativen VAS – Werten in Bezug auf Rücken- und Beinschmerzen bei kurzstreckigen Fusionen führte (66). In der vorliegenden Studie wurden die Probanden in mono- bzw. multisegmentale Gruppen unterteilt und diese jeweils in Bezug auf die PI – LL Diskrepanz untersucht. In der „monosegmentalen“ Gruppe gaben 91% (10/11 Patienten), die innerhalb  $LL = PI \pm 10$  waren, Schmerzfremheit/ Besserung der Schmerzen an. Bei den Probanden, die sich außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  befanden, waren es 80%. Vergleichbar zu der Abhandlung von Aoki et al. zeigt sich, dass zwar insgesamt eine Schmerzverbesserung durch den operativen Eingriff erreicht werden konnte, dass die Probanden, die sich jedoch außerhalb des gewünschten Intervalls von  $LL = PI \pm 10$  befanden, etwas schlechter abschnitten als die innerhalb des Intervalls. Detaillierte Vergleichsstudien für multisegmentale lumbale Fusionen in Korrelation zur PI – LL Diskrepanz sind selten. In der aktuellen Arbeit konnte diesbezüglich eine Schmerzfremheit/ Schmerzverbesserung bei 70% (14/20) der Patienten die innerhalb  $LL = PI \pm 10$  und bei 56% (9/16) die außerhalb davon waren, erreicht werden. Ältere Arbeiten zeigten bei langstreckigen Fusionen, wie bereits bekannt, dass unter anderem eine kleinstmögliche PI – LL Diskrepanz für ein optimales klinisches Outcome entscheidend ist (20).

Als vergleichbare Studien im Hinblick auf die Fusionslänge können die von Holzapfel et. al und Werner et al. herangezogen werden. In beiden Studien konnte eine deutliche postoperative Schmerzreduktion ohne signifikante Gruppenunterschiede erreicht werden (49,50).

### 4.3.3 Einsatz von Schmerzmittel

In mehreren Studien wurde unter anderem untersucht, wie sich der Gebrauch von Schmerzmitteln prä- und postoperativ verhält. Dabei konnte postoperativ meist eine deutliche Reduktion der Analgetika – Einnahme erreicht werden (50,63,64). Zu einem anderen Ergebnis kam die Studie von Deyo et al., in der das Hauptaugenmerk auf den Gebrauch von Opioiden vor und nach lumbaler Fusion lag: von insgesamt 2491 Probanden, nahmen präoperativ 1045 davon langfristig Opiode ein, postoperativ stieg die Zahl auf 1094. Zusätzlich nahmen 77,1% der Patienten, die bereits präoperativ diese regelmäßig einnahmen, kontinuierlich weiter, nur bei 13,8% wurden diese bei Bedarf eingenommen. Bei lediglich 9,1% kam es zum Abbruch bzw. kurzfristigen Einnahme der Opiode. Ein möglicher Grund dafür könnte die Tatsache sein, dass die regelmäßige Einnahme von Opioiden zur Abhängigkeit führen kann. Bei bereits präoperativer langfristiger Einnahme kann daher der Abbruch bzw. die Reduktion von Opioiden erschwert werden (67). Zu beachten ist, dass in den erwähnten Studien von Lemcke et al., Quante et al. und Deyo et al. kein Bezug auf mono- bzw. multisegmentaler Aufteilung genommen wurde.

In der vorliegenden Studie wurde zwar kein Vergleich zwischen prä- und postoperativem Konsum von Analgetika gestellt, was jedoch auffällt, ist, dass sowohl in der „monosegmentalen“ als auch „multisegmentalen“ Gruppe jeweils ein hoher Prozentsatz an Patienten weiterhin Schmerzmittel benötigte („monosegmental“ 65,2% und „multisegmental“ 86,8%).

Des Weiteren wurde in der vorliegenden Abhandlung eine Korrelation zwischen dem Einsatz von Schmerzmittel und der PI – LL Diskrepanz ermittelt: dabei zeigte sich, dass Patienten mit größerer PI – LL Diskrepanz deutlich mehr Analgetika benötigten als die mit kleinerer (89,3% zu 65,7%).



Dies erwies sich als statistisch signifikant ( $p = 0,029$ ). Bisher gibt es nur sehr wenig vergleichbare Studien, die den Zusammenhang zwischen Schmerzmittelgebrauch und spinopelviner Parameter untersucht haben. Die Arbeit von Bourghli et al. kann am ehesten herangezogen werden, wobei nicht die PI – LL Diskrepanz sondern unter anderem die SVA als zu untersuchende Variable verwendet wurde. 372 Patienten wurden in 3 Gruppen bzgl. des präoperativen Analgetika – Konsums unterteilt (1: kein/wenig bzw. einmal wöchentlich NSAIDs; 2: täglich NSAIDs; 3: täglich Opiode) und 6 Monate bzw. 1 Jahr postoperativ bzgl. Schmerzmitteleinnahme befragt, zusätzlich in Korrelation zu sagittalen Parametern. Dabei konnte unter anderem eine deutliche Reduktion des Schmerzmittelgebrauchs in allen drei Gruppen innerhalb eines Jahres erreicht werden, eine bleibende postoperativ Sagittale Imbalance führte jedoch zu weiterhin täglichem NSAID – Konsum. Dies zeigt, ähnlich wie in der vorliegenden Studie, dass eine Sagittale Imbalance als prädiktiver Wert für anhaltenden Einsatz von Schmerzmittel angesehen werden kann (68).

### **4.3.4 Patientenzufriedenheit bzgl. OP – Ergebnis**

In den meisten Fällen wird das postoperative Ergebnis von Patienten als zufriedenstellend bewertet. In der bereits oftmals zitierten Arbeit von Holzapfel et al. profitierten 85,6% der Patienten von der Operation (50). Demgegenüber konnte in einer Studie zur Nachuntersuchung lumbaler Fusionsoperation ein positiver Nutzen bei 74% der Patienten durch die Operation berichtet werden, während 26% keinen Nutzen oder sogar Schaden davontrugen (69).

Bei genauer Betrachtung der einzelnen Werte der Studie von Holzapfel et al. zeigt sich, dass die Operation 37,1% (36/97) der Patienten „sehr geholfen“ bzw. „geholfen“ hat und 11,3% (11/97) „nur wenig“ geholfen hat. In unserer Studie war die Aufteilung der subjektiven Operationsbewertung wie folgt: „sehr zufrieden“ waren 40,2% (33/82) der Probanden, „mittelmäßig zufrieden“ 39,0% (32/82) und „wenig zufrieden“ 20,7% (17/82). Obwohl auch diesmal wieder das Gesamtkollektiv der Patienten untersucht und kein Vergleich zwischen den Gruppen („mono- und multisegmental“) gezogen wurde, erscheinen unsere Ergebnisse mit denen von Holzapfel vergleichbar.

Eine allgemeine Patientenzufriedenheit zeigte sich auch in der Studie von Werner et al.: anhand der NAS (Maximalwert „völlig zufrieden“: 10 Punkte) konnte der Durchschnittswert von 7,5 Punkten angegeben werden. Vergleicht man die jeweiligen Werte der beiden Gruppen, erkennt man, dass sowohl bei „monosegmental“ versteiften Patienten als auch bei „bisegmental“ versteiften Patienten eine hohe postoperative Zufriedenheit erreicht werden konnte („monosegmental“ NAS von 7,1 und „bisegmental“ NAS von 8,4) (49). In unserer Studie zeigte sich eine andere Verteilung: die Probanden der „monosegmentalen“ Gruppe waren tendenziell zufriedener als die der „multisegmentalen“ Gruppe („sehr zufrieden“: 65,2% zu 23,7%; „mittelmäßig zufrieden“: 26,1% zu 44,7%; „wenig zufrieden“: 8,7% zu 31,6%). Die Ergebnisse konnten als statistisch signifikant eingestuft werden ( $p = 0,007$ ).

Aktuell ist es schwierig, vergleichbare Studien, die eine Korrelation zwischen der PI – LL Diskrepanz und der Patientenzufriedenheit untersucht haben, zu finden. Weitere Studien zu diesem Thema scheinen erforderlich.

Die Ergebnisse unserer Studie zeigten, dass zumindest 42,9%, die sich innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  befanden und 35,7%, die außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren, die Operation als „sehr zufriedenstellend“ beurteilten. Funao et al. untersuchte einen möglichen Zusammenhang zwischen der SVA und der Patientenzufriedenheit und konnte diesbezüglich Unterschiede aufzeichnen: bei einer SVA > 5cm konnte die Zufriedenheit der Patienten weniger verbessert werden, als bei SVA – Werten < 5cm (70).

Es stellt sich die Frage, warum die Quote der „sehr zufriedenen“ Patienten nicht höher ausgefallen ist. Dafür können mehrere Gründe in Frage kommen. Zum einen lassen sich retrospektiv prä- und postoperative Beschwerdesituationen nur schwer miteinander vergleichen. Zum anderen sind persistierende Beschwerden nach Fusion nicht nur auf eine schlechte operative Korrektur der Sagittalen Balance zurück zu führen. Beispielsweise können psychische Vorerkrankungen aber auch ungünstige Lebensgewohnheiten (z. B.: Rauchen) den Krankheitsverlauf entscheidend beeinflussen (71). Auch eine zu hohe Erwartungshaltung kann auf die postoperative Zufriedenheit Einfluss nehmen (72).

## 4.4 Klinische Schmerzen

### 4.4.1 Druckschmerz ISG

Postoperativ bestehende Rückenschmerzen, insbesondere im Lendenbereich, können ihre möglichen Ursachen im Iliosakralgelenk haben. Pathophysiologisch können dabei drei Ursachen herangezogen werden: zum einen kann es zu einer ausgeprägten mechanischen Lastenverteilung auf das ISG nach lumbaler Fusion kommen, zum anderen kann eine Entnahme von Spongiosa aus dem Beckenkamm negative Auswirkungen auf das ISG haben. Ein dritter Grund für Schmerzen im ISG Bereich kann die Fehldiagnose eines sogenannten „ISG – Syndroms“ vor geplanter lumbaler Fusion sein (73). In seltenen Fällen können Beschwerden im ISG auch iatrogen verursacht werden, indem bei lumbosakraler Fusion die Pedikelschrauben zu nahe an das ISG angebracht werden (74).

Bereits mehrere Studien konnten eine erhöhte Rate an (Druck-)Schmerzhaftigkeit im ISG nach lumbaler bzw. lumbosakraler Fusion aufzeigen (73,75). Dabei konnten auch eindeutige Unterschiede in der Häufigkeit bezüglich ein- und mehrsegmentaler Fusionen verzeichnet werden. In der Studie von Unoki et al. wurden 262 Patienten, die eine lumbale bzw. lumbosakrale Fusion erhalten hatten, bezüglich postoperativ neu aufgetretener Schmerzen im ISG Bereich untersucht. Dabei wurden diese zusätzlich anhand der Anzahl der versteiften Segmente und ob das Sakrum in die Fusion miteinbezogen wurde oder nicht unterteilt. Es zeigte sich, dass bei Patienten mit einer „Mitversteifung“ des Sakrums deutlich häufiger Beschwerden im ISG auftraten als bei der anderen Gruppe (13,1% zu 10,0%). Desweiteren konnte eine kontinuierliche Zunahme der ISG – Schmerzen mit steigender Segmentzahl eruiert werden („monosegmental“ 5,8% - „2 – Segmentfusion“ 10,0% - „3 – Segmentfusion“ 20,0% - „4 – Segmentfusion“ 22,5%) (76). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen sie auch in einer weiteren Studie, in der jedoch nur multisegmental versteifte Patienten ( $\geq 3$  Segmente) miteinander verglichen wurden. Auch hier zeigte sich eine höhere Inzidenz an ISG – Beschwerden bei Patienten, deren Sakrum mitfusioniert wurde (32,1% zu 12,7%) (77).

In der vorliegenden Studie zeigte sich ebenfalls, dass die Anzahl der versteiften Segmente Einfluss auf die ISG – Problematik hatte: in der Gruppe „monosegmental“

gaben 52,4% (11/21) postoperativ Schmerzen im ISG an, in der Gruppe „multisegmental“ sogar bis zu 66,7% (24/36).

Mögliche Korrelationen zwischen dem ISG – Druckschmerz und der PI – LL Diskrepanz zeigten die Ergebnisse der Studie von Shin et al: die Gruppe der Probanden, die im Bereich des ISG Schmerzen aufwiesen, hatten im Gegensatz zu der Vergleichsgruppe ohne Schmerzen postoperativ eine signifikant größere PI – LL Diskrepanz ( $p = 0,03$ ). Als weitere Schlussfolgerung daraus ergab sich, dass in der betroffenen Gruppe, die Wiederherstellung bzw. Optimierung der Lendenlordose nicht gelungen war und dementsprechend eine stärkere Imbalance daraus resultierte (78).

Obwohl keine statistische Signifikanz innerhalb der Gruppen erzielt werden konnte („monosegmental“:  $p = 0,605$  „multisegmental“:  $p = 0,718$ ), ähneln die Ergebnisse der vorliegenden Studie denen von Shin et al: in der Gruppe „monosegmental“ hatten die Probanden, die außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  lagen, mehr Schmerzen im ISG Bereich als die, die sich innerhalb von  $LL = PI \pm 10$  befanden (60,0% zu 45,5%). Ähnliche Zahlen ergaben sich in der Gruppe „multisegmental“ (75,0% zu 60,0%).

### 4.4.2 Reklinationsschmerz

Bezüglich postoperativer Schmerzen speziell in der Reklination können keine vergleichbaren Studien herangezogen werden, weder in Bezug auf die Anzahl der fusionierten Segmente, noch in Zusammenhang mit der PI – LL Diskrepanz.

Stattdessen wurde das Hauptaugenmerk auf das Bewegungsausmaß der Wirbelsäule nach lumbaler Fusion gelegt. In der Studie Werner et al. wurden die Bewegungsausmaße für die Lateralflexion, Ventralflexion und Dorsalextension der betroffenen Patienten eruiert (Lateralflexion  $21^\circ$  - Ventralflexion  $66^\circ$  - Dorsalextension  $17^\circ$ ), ohne signifikanten Unterschied zwischen ein- und bisegmentaler Fusion. Im Vergleich dazu konnten in der Kontrollgruppe („rückengesunde Probanden“) im Durchschnitt etwas höhere Werte erreicht werden (Lateralflexion  $31^\circ$  - Ventralflexion  $88^\circ$  - Dorsalextension  $28^\circ$ ) (49).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen die Arbeiten von Keeley et al. und Mayer et al., in denen die Ventralflexion bei  $55^\circ$  bzw.  $66^\circ$  und die Dorsalextension bei jeweils  $27^\circ$

gemessen wurde (79,80). Ob postoperativ bestehende Schmerzen die Bewegungsausmaße der Wirbelsäule einschränkten, wurde jedoch nicht geklärt.

In unserer Studie wurden nicht die Bewegungsausmaße der Wirbelsäule, sondern die postoperativen Schmerzen bei der Reklination untersucht. Von dem Gesamtkollektiv gaben rund 42,9% der Probanden, die innerhalb  $LL = PI \pm 10$  lagen, Reklinationsschmerzen an, 50,0% der Probanden, die außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  waren. Bezogen auf die Anzahl der Segmente zeigte sich, dass bei „monosegmental“ versteiften Patienten innerhalb  $LL = PI \pm 10$  36,4% Schmerzen bei der Dorsalextension aufwiesen und 40,0% der Patienten, die außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  sich befanden. In der „multisegmentalen“ Gruppe konnten folgende Zahlen ermittelt werden: je 50,0% (innerhalb und außerhalb  $LL = PI \pm 10$ ) der Studienteilnehmer wiesen Reklinationsschmerzen auf. Eine Signifikanz konnte innerhalb der Gruppen nicht erreicht werden. Aktuell fehlen vergleichbare Studien, die eine Korrelation zwischen der  $PI - LL$  Diskrepanz bzw. Anzahl der versteiften Segmente und Bewegungsschmerzen aufzeigen würden. Weitere Studien diesbezüglich sind erforderlich, um aussagekräftige Vergleiche erzielen zu können.

### 4.4.3 Finger – Boden – Abstand (FBA)

Dass der FBA als zuverlässige Messmethode, zur Untersuchung sowohl „Rückengesunder“ als auch bei Patienten mit chronischen Rückenbeschwerden herangezogen wird, konnten bereits mehrere Studien belegen (81–83). Standardwerte können diesbezüglich nur schwer definiert werden, da es bereits bei gesunden Menschen eine große Streuung gibt.

In der Studie von Werner et al. wurde ein durchschnittlicher FBA – Wert von 32,3cm gemessen, unabhängig von der Fusionslänge (mono- bzw. bisegmentale Fusion). Die Kontrollgruppe („rückengesund“) zeigte einen deutlich niedrigeren FBA – Wert von 9,3cm. Danielsson et al. konnten ebenfalls in ihrer Arbeit zeigen, dass der FBA von der Länge der Fusion unberührt bleibt (84).

Vergleicht man prä- und postoperativ gemessene FBA – Werte, finden sich unterschiedliche Ergebnisse dazu: die Studie von Holzapfel et al., in der Patienten nach ein- und mehrsegmentaler Spondylodese der LWS untersucht wurden,

konnte postoperativ bessere FBA – Werte erreichen (prä – op MW 24,7cm zu post – op MW 20,8cm), jedoch ohne relevante Signifikanz (50). Im Gegensatz dazu, zeigte sich in der Studie von Stief et al., dass – unabhängig von der Fusionslänge – der FBA postoperativ deutlich zunahm (von präoperativ 14,3cm auf postoperativ 21,7cm). Dabei konnte eine statistische Signifikanz verzeichnet werden ( $p = 0,003$ ). Als erklärbare Ursache dafür, wurde die Versteifung der betroffenen Segmente mittels Schrauben und damit der daraus resultierende Verlust der beweglichen Anteile herangezogen (85).

In der vorliegenden Studie wurden die FBA – Messwerte in  $< 10\text{cm}$  und  $> 10\text{cm}$  unterteilt. Auch hier zeigte sich, dass – unabhängig von der Fusionslänge – der Hauptanteil der FBA – Werte  $> 10\text{cm}$  lag, sei es im Gesamtkollektiv (28,6% (18/63)  $< 10\text{cm}$  und 69,8% (44/63)  $> 10\text{cm}$ ; bei 1,6% (1/63) war die Messung nicht möglich) oder die einzelnen Untergruppen betrachtend („monosegmental“  $< 10\text{cm}$  33,3% (7/21) zu  $> 10\text{cm}$  66,6% (14/21); „multisegmental“  $< 10\text{cm}$  25,0% (9/36) zu  $> 10\text{cm}$  75,0% (27/36)).

Bezüglich einer bestehenden Korrelation zwischen dem FBA und der PI – LL Diskrepanz bzw. Einfluss der Sagittalen (Im)balance auf den FBA, gibt es in der aktuellen Literatur keine vergleichbaren Studien. Unsere Daten zeigten, dass die Mehrheit der Patienten einen FBA  $> 10\text{cm}$  aufwiesen, unabhängig davon, ob sie innerhalb (71,4% (25/35)) oder außerhalb von  $LL = PI \pm 10$  lagen (67,9% (19/28)). Auch in dieser Hinsicht sind weitere Studien in Zukunft erforderlich, um aussagekräftige Vergleiche erzielen zu können.

## 4.5 Psychologische Tests

### 4.5.1 Depressions – Angst – Stress Skala (DASS – 21) bezogen auf LL = PI $\pm$ 10 und SVA

Psychosoziale Faktoren – Depression, Angst, Stress – beeinflussen das postoperative Ergebnis bzw. die Zufriedenheit der Patienten in großem Ausmaß. Auch konnten Auswirkungen auf eine Chronifizierung mancher Krankheiten nachgewiesen werden. Mit besonderem Augenmerk auf Rückenschmerzen, insbesondere im Lendenbereich, konnte die Studie von Pincus et al. zeigen, dass vorbestehende Depression, Stress und Somatisierung zur Chronifizierung der Beschwerden beitragen können (86).

Um die Wahrscheinlichkeit bzw. die Ausprägung einer möglichen Depression, Angst oder Stress herauszufinden, können verschiedene Tests herangezogen werden. In der Studie von Wagner et al. wurde das postoperative Ergebnis bei Patienten nach operativer Versorgung entweder mittels Dekompression oder Fusion der Wirbelsäule bei degenerativen WS – Erkrankungen untersucht. Zusätzlich wurden prä- und postoperativ psychologische Tests zur Erhebung von Daten bzgl. Depression, Angst und Stress durchgeführt. Dabei wurden folgende Testverfahren verwendet: für Depression der ADS – K Test, für Angst der STAI – S, STAI – T und AIS – 3 Test und für Stress der PTSS – 10 Test. Das Resultat der Studie ergab, dass Patienten mit bereits vorbekannten psychischen Problemen spätestens nach 12 Monaten postoperativ von der Operation gleichermaßen profitierten wie psychisch gesunde Menschen (87).

Ein weiteres häufig verwendetes Testverfahren ist der HADS – Test, wobei bei diesem Test hauptsächlich Depression und Angst im Vordergrund stehen. Dieser wurde in der Studie von Lee et al. gemeinsam mit dem LOT – R Test (Optimismus) verwendet. Es wurde der Einfluss von präoperativer Depression, Angst und Optimismus auf die postoperative Zufriedenheit bzw. das klinische Ergebnis bei Patienten, die aufgrund degenerativer WS – Erkrankungen ein- bzw. bisegmental fusioniert wurden, untersucht. Dabei zeigte sich, dass der psychologische Status keine signifikante Korrelation zu der klinischen Verbesserung aufwies, optimistisch eingestellte Menschen waren postoperativ signifikant zufriedener (88).

Unter Verwendung des DASS – 21 Tests konnte in der Studie von Azfar et al. bewiesen werden, dass der psychische Status und vorhandene Rückenschmerzen im Bereich der LWS in engem Zusammenhang zueinander stehen (89). Auch in der vorliegenden Studie wurde der DASS – 21 Test verwendet. Anhand 21 Fragen konnte das Ausmaß einer Belastung mit depressiven, ängstlichen und/ oder stressbezogenen Merkmalen eingeschätzt werden. Zusätzlich wurde untersucht, ob das Sagittale Alignment - in Form der PI – LL Diskrepanz und der SVA – mögliche Auswirkungen auf die Psyche hat. Vergleichbare Studien, in denen der DASS – 21 Test in Korrelation mit Maßen der Sagittalen Balance herangezogen wird, gibt es bis dato nicht. Dass es ein valider und reproduzierbarer Test ist, konnte bereits in mehreren Studien bestätigt werden (41,90).

Betrachtet man zunächst die Ergebnisse bezogen auf die PI – LL Diskrepanz, zeigt sich, dass die Mehrheit der Probanden keine depressiven, ängstlichen oder stressbezogenen Merkmale aufwiesen, egal ob sie innerhalb  $LL = PI \pm 10$  lagen oder nicht. Auch die Unterteilung in die Untergruppen („mono- bzw. multisegmental“) ergab ähnliche Ergebnisse ohne statistische Relevanz (vgl. dazu „Ergebnisteil“ S.75 – 78).

Als weiterer untersuchter Parameter der Sagittalen Balance zählte die „Sagittal Vertical Axis“ (SVA). Sowohl in der Gesamtheit als auch in den jeweiligen Untergruppen hatten mehr als 50% der Patienten keine Depression, keine Angst und auch nicht mehr Stress postoperativ. Lediglich die Untergruppe „multisegmental“ bezogen auf eine mögliche Depression zeigte eine statistische Signifikanz ( $p = 0,026$ ) (vgl. dazu „Ergebnisteil“ S. 81 – 84).

Ein Kritikpunkt an der vorliegenden Studie ist, dass kein präoperativer psychologischer Status bzgl. Depression, Angst und Stress erhoben wurde. Damit hätte ein besserer Vergleich erzielt werden können. Dennoch überraschen die erzielten Ergebnisse: da bereits oft die Wichtigkeit der postoperativ wiederhergestellten Sagittalen Balance und den damit verbundenen Einfluss auf die Lebensqualität (vgl. dazu „Diskussionsteil“ S. 102 – 104) und somit die Psyche betont wurde, verwundert es doch, dass nicht mehr Probanden unter psychosozialen Faktoren leiden, eine höhere Zahl an Betroffenen wurde erwartet.



#### 4.5.2 Oswestry Disability Index (ODI) bezogen auf $LL = PI \pm 10$ und SVA

Die größte Motivation, sich einer Therapie bei Rückenschmerzen zu unterziehen – sei es operativ oder konservativ – ist neben der Schmerzreduktion, die Einschränkungen im Alltag zu minimieren und somit die Lebensqualität zu verbessern. Darunter versteht jeder Mensch etwas anderes, sei es die Schlafqualität zu optimieren, ohne Schmerzmittel einen Spaziergang machen zu können oder schmerzfrei sein Sexualleben ausüben zu können.

In der vorliegenden Studie wurde dafür der Oswestry Disability Index (ODI) herangezogen. Aufgrund seiner einfachen Durchführbarkeit und Validität hat er sich als Goldstandard bei Studien bzgl. Wirbelsäulen- bzw. Rückenproblemen etabliert (44).

Dass die Wiederherstellung der Sagittalen Balance erhebliche positive Auswirkungen auf die Lebensqualität hat, wurde bereits mehrmals in dieser Arbeit erwähnt. Insbesondere die PI – LL Diskrepanz, die SVA, aber auch die PT sind entscheidende Parameter, die bei Entschluss einer operativen Korrektur unbedingt berücksichtigt werden sollten. Schwab et al. konnte bereits in mehreren Studien beweisen, dass bei langstreckigen Fusionen der Wirbelsäule, diese drei spinopelvinen Parameter ausschlaggebend sind (19,20,91). In der Studie von Aoki et al. konnte gezeigt werden, dass auch bei kurztreckigen Fusionen unter anderem auf die PI – LL Diskrepanz geachtet werden muss. Dabei wurden 52 Patienten, die aufgrund einer degenerativen Wirbelsäulenerkrankung mittels kurztreckiger Fusion behandelt wurden, in 2 Gruppen unterteilt – eine  $PI - LL < 10^\circ$  die andere  $PI - LL > 11^\circ$ . Die Probanden deren PI – LL Diskrepanz durch die OP kleiner ausfiel bzw. besser korrigiert wurde, zeigten ein deutlich besseres postoperatives Outcome. Auch die Lebensqualität in Bezug auf den ODI wurde optimiert, jedoch ohne statistische Signifikanz (66).

Während Schwab et al. in seinen Studien die optimale PI – LL Diskrepanz bei  $< 10^\circ$  festgelegt hatte, wurde dies in anderen Studien kontrovers diskutiert. Bei den Kollegen Zhang et al. wurde beispielsweise die ideale PI – LL Diskrepanz zwischen  $10^\circ$  und  $20^\circ$  ermittelt; eine signifikante Besserung des ODI konnte dabei ebenfalls ermittelt werden (92).

Auch Inami et al. wiesen in ihrer Studie darauf hin, dass die ideale PI – LL Diskrepanz nicht automatisch  $< 10^\circ$  liegen muss, sondern abhängig von der individuellen Größe des PI – Wertes ist und somit auch größere Werte annehmen kann, ohne dass sich dies auf die Lebensqualität schlechter auswirken würde (93).

In der vorliegenden Studie konnte eine zirka ähnliche Anzahl an Probanden ermittelt werden, die sowohl eine PI – LL Diskrepanz  $< 10^\circ$  als auch  $> 10^\circ$  aufwiesen; Patienten außerhalb des Intervalls  $LL = PI \pm 10$  zeigten tendenziell etwas schlechtere ODI – Werte auf als Patienten innerhalb des Intervalls, jedoch ohne statistische Signifikanz. Auch innerhalb der Untergruppen („mono- und multisegmental“) konnten keine relevanten Unterschiede erzielt werden.

Ein Kritikpunkt an dieser Studie ist, dass auch hier keine präoperativen ODI – Werte ermittelt wurden und somit ein besserer Vergleich ausbleibt. Dass nicht mehr Probanden postoperativ eine kleinere PI – LL Diskrepanz aufweisen, und somit auch die Lebensqualität schlechter ausfällt, gibt den Anschein, dass zu dieser Zeit die Wiederherstellung der Sagittalen Balance mit Berücksichtigung der drei spinopelvinen Parametern nicht im Mittelpunkt stand.

Neben der PI – LL Diskrepanz wurde auch die Auswirkung der SVA auf die Lebensqualität in mehreren Studien untersucht. Postoperative Werte  $< 5\text{cm}$  korrelierten mehrheitlich mit einer stärkeren Zufriedenheit und deutlich geringeren Einschränkung im Alltag, gemessen durch den ODI (20,70). Ob nun operative oder konservative Methoden eher zum gewünschten Ziel führen, muss individuell entschieden werden. Schwab et al. untersuchte in einer seiner zahlreichen Studien 492 Patienten, welche in 2 Gruppen (OP und NONOP) unterteilt wurden. Neben der PI – LL Diskrepanz wurde auch die SVA in Bezug auf den ODI ermittelt. Überraschenderweise zeigte die OP – Gruppe gegenüber der NONOP – Gruppe deutlich schlechtere Werte (SVA 55mm vs. 17mm  $p < 0,05$ , PI – LL  $12,2^\circ$  vs.  $4,3^\circ$   $p < 0,05$ , PT  $22^\circ$  vs.  $11^\circ$   $p < 0,05$ ). Dass aber bei schlechteren, d. h. größeren SVA – Werten  $> 50\text{mm}$  auch die Lebensqualität darunter leidet, konnte anhand der ODI – Werte erneut bewiesen werden (OP 41,4 vs. NONOP 23,9 mit  $p = 0,005$ ) (91). Im Gegensatz zu den operierten Probanden von Schwab et al. profitierten die Patienten von Scheer et al., die ebenfalls in eine OP bzw. NONOP – Gruppe gegliedert wurden, eindeutig von dem Eingriff: neben einer starken Reduktion der Rücken- und

Beinschmerzen, konnte eine erhebliche Senkung des ODI innerhalb der ersten zwei Jahren erreicht werden (prä – op 41% auf 25% im 2. FU-Jahr  $p < 0,0001$ ) (94).

Als weiteres beweisendes Beispiel kann die Arbeit von Radovanovic et al. genannt werden: bei 84 Probanden wurde die SVA gemessen und in  $< 50\text{mm}$  und  $> 50\text{mm}$  eingeteilt. Sowohl prä- als auch postoperativ zeigten die Patienten mit SVA – Werten  $> 50\text{mm}$  deutlich schlechtere ODI – Werte auf, eine signifikante Verbesserung durch den operativen Eingriff konnte ebenfalls ermittelt werden (ODI bei SVA  $< 50\text{mm}$ : prä – op 47,8 auf post – op 21,9 und ODI bei SVA  $> 50\text{mm}$ : präop 54,0 auf postop 30,3 mit  $p = 0,043$ ). Zusätzlich konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen SVA und ODI erhoben werden ( $p = 0,049$ ) (57).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen die in anderen Arbeiten bewiesene Korrelation zwischen SVA und ODI nur bedingt. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass kein Mittelwert des ODI erhoben wurde, sondern die einzelnen Gliederungen („minimale – mäßige – starke Behinderung – invalidisierend – bettlägerig“) betrachtet wurden. Ein weiterer Grund ist wiederum das Fehlen von präoperativen ODI – Werten. Lediglich die Zahlen der „multisegmentalen“ Gruppe können mit den Ergebnissen der zitierten Studien verglichen werden. Dabei zeigten die Probanden mit SVA  $> 50\text{mm}$  signifikant schlechtere ODI Werte als die Patienten mit SVA  $< 50\text{mm}$  ( $p = 0,004$ ).

## 5 Zusammenfassung

Die Wichtigkeit und Wiederherstellung der Sagittalen Balance hat in den letzten Jahren insbesondere im operativen Management bei Wirbelsäulenerkrankungen immer mehr an Bedeutung gewonnen. Um ein bestmöglichstes Resultat in Form einer Schmerzreduktion und Steigerung der Lebensqualität zu erreichen, wurde bereits in mehreren Studien bewiesen, dass insbesondere die Korrektur der Werte PI – LL, PT und SVA dafür ausschlaggebend ist.

In der vorliegenden Studie sollte untersucht werden, ob die Sagittale Balance nach lumbaler Spondylodese wiederhergestellt werden konnte und dies auch Einfluss auf die Patientenzufriedenheit hatte. Die Studie umfasste 71 Probanden mit einem Durchschnittsalter von 62,6 Jahren, die im Zeitraum von 2008 bis 2013 operiert wurden. Anhand gezielter Fragebögen, klinischer Untersuchungen und zusätzlicher Röntgenuntersuchungen der Wirbelsäule mit Ausmessung der entscheidenden Parameter, konnten die Daten in Bezug auf die PI – LL Diskrepanz sowie Fusionslänge erhoben werden.

Im Gesamtkollektiv (n = 63) konnte bei mehr als 50% der untersuchten Probanden die Sagittale Balance wiederhergestellt werden, auch unabhängig von der Fusionslänge, jedoch ohne statistische Signifikanz. Bezogen auf die PI – LL Diskrepanz konnten deutliche Unterschiede aufgezeigt werden: Patienten mit kleinerer PI – LL Diskrepanz zeigten neben einer positiven Schmerzveränderung in Form von Schmerzfremheit bzw. -verbesserung auch eine eindeutig höhere Zufriedenheit als jene mit größerer PI – LL Diskrepanz. Dies wirkte sich dementsprechend auch positiv auf die Lebensqualität der Studienteilnehmer aus.

Auch in Bezug auf den postoperativen ISG – Druckschmerz gaben Probanden mit größerer PI – LL Diskrepanz prozentual häufiger Schmerzen an. Dies spiegelt auch den weiterhin hohen Gebrauch an Analgetika postoperativ bei diesen Patienten wider.

Hinsichtlich der Fusionslänge konnte gezeigt werden, dass „monosegmental“ versteifte Patienten weniger Druckschmerzen im Bereich des ISG aufwiesen als „multisegmental“ Versorgte. Dementsprechend verwundert es nicht, dass auch eine geringere Zahl an versteiften Segmenten zu einer signifikant höheren Zufriedenheit führte, als bei Patienten mit „multisegmentaler“ Versteifung.

Die Mehrheit der Probanden (> 70%) wies keine depressiven, ängstlichen oder stressbezogenen Merkmale auf, unabhängig von der Fusionslänge und der PI – LL Diskrepanz. Bezogen auf die SVA zeigte sich bei den „multisegmental“ Versteiften ein erhöhtes Risiko einer Depression bei steigenden SVA – Werten (> 50mm). Auch im Hinblick auf die Lebensqualität schnitten Probanden der „multisegmentalen“ Gruppe schlechter ab: Patienten, deren SVA – Werte > 50mm waren, wiesen signifikant schlechtere ODI – Werte und dementsprechend stärkere Einbußen hinsichtlich der Lebensqualität auf.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Burns B, Beaty JH, Daugherty K, Jones L, Canale ST. Campbell's operative orthopaedics. 12th ed., Vol 2. Philadelphia: Elsevier/Mosby; 2013. 2050 p.
2. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, editors. Prometheus - LernAtlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem ; 182 Tabellen. 2nd ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2007. XV, 600 S.
3. Benninghoff A, Drenckhahn D, Benninghoff-Drenckhahn, editors. Zellen- und Gewebelehre, Entwicklungslehre, Skelett- und Muskelsystem, Atemsystem, Verdauungssystem, Harn- und Genitalsystem ; [Online-Zugang + interaktive Extras [www.studentconsult.de](http://www.studentconsult.de)]. 17th ed. Anatomie, makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie / Benninghoff; Drenckhahn ; Bd. 1. München: Elsevier Urban & Fischer; 2008. 956 p.
4. Lippert H, Deller T. Lehrbuch Anatomie: 184 Tabellen ; [Online-Zugang + interaktive Extras [www.studentconsult.de](http://www.studentconsult.de)]. 7th ed. München: Elsevier Urban & Fischer; 2006. 884 p. ger.
5. Trepel M. Neuroanatomie: Struktur und Funktion. 5th ed. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2012. XII, 420 S.
6. Schwab F, Lafage V, Patel A, Farcy J-P. Sagittal Plane Considerations and the Pelvis in the Adult Patient. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009;34(17):1828–33. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181a13c08.
7. Koller H, Zenner J, Ferraris L, Meier O. Sagittale Balance und posttraumatische Fehlstellungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Teil 1. Orthopädie und Unfallchirurgie *up2date* 2009;4(05):277–90. doi: 10.1055/s-0029-1215083.
8. Le Huec J-C, Faundez A, Dominguez D, Hoffmeyer P, Aunoble S. Evidence showing the relationship between sagittal balance and clinical outcomes in surgical treatment of degenerative spinal diseases: a literature review. *Int Orthop* 2015;39(1):87–95. doi: 10.1007/s00264-014-2516-6. PubMed PMID: 25192690.
9. Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar 2, JR, Betz RR, Labelle H. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29(15):1642–7.
10. Duval-Beaupere G, Schmidt C, Cosson P. A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng* 1992;20(4):451–62.
11. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 2006;15(4):415–22. doi: 10.1007/s00586-005-0984-5.

12. Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 1998;7(2):99–103. PubMed PMID: 9629932.
13. Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J* 2002;11(1):80–7. doi: 10.1007/s005860000224.
14. L. Ferraris, H. Koller, O. Meier, A. Hempfing. Die Bedeutung der sagittalen Balance in der Wirbelsäulenchirurgie. Deutscher Ärzte-Verlag 2012:502–8. doi: 10.3238/oup.2012.0502–0508.
15. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(3):346–53. PubMed PMID: 15682018.
16. Decker S, Muller CW, Omar M, Krettek C, Schwab F, Trobisch PD. Sagittal Balance of the Spine - Clinical Importance and Radiographic Assessment. *Z Orthop Unfall* 2015. doi: 10.1055/s-0041-109327. PubMed PMID: 26670303.
17. Jackson RP, McManus AC. Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1994;19(14):1611–8.
18. Glassman SD, Bridwell K, Dimar, JR, Horton W, Berven S, Schwab F. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(18):2024–9.
19. Schwab F, Ungar B, Blondel B, Buchowski J, Coe J, Deinlein D, et al. Scoliosis Research Society-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012;37(12):1077–82. doi: 10.1097/BRS.0b013e31823e15e2.
20. Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine (Phila Pa 1976)* 2010;35(25):2224–31. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181ee6bd4.
21. Lamartina C, Berjano P. Classification of sagittal imbalance based on spinal alignment and compensatory mechanisms. *Eur Spine J* 2014;23(6):1177–89. doi: 10.1007/s00586-014-3227-9.
22. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, Le Huec J-C. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms? *Eur Spine J* 2011;20(S5):626–33. doi: 10.1007/s00586-011-1930-3.
23. Esses SI, editor. Textbook of spinal disorders. Philadelphia: Lippincott; 1995. XVI, 352 S. : zahlr. III.
24. Bridwell KH, DeWald RL, editors. The textbook of spinal surgery. 3rd ed., Vol 1. Philadelphia, Pa. [u.a.]: Lippincott; 2011. 707 p.

25. Wiltse LL, Newman PH, Macnab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. Clin Orthop Relat Res 1976(117):23–9. PubMed PMID: 1277669.
26. Yue W-M, Brodner W, Gaines RW. Abnormal Spinal Anatomy in 27 Cases of Surgically Corrected Spondyloptosis. Spine (Phila Pa 1976) 2005;30(Supplement):S22-S26. doi: 10.1097/01.brs.0000155572.72287.92.
27. Wittenberg RH, Willburger RE, Kramer J. Spondylolysis and spondylolisthesis. Diagnosis and therapy. Orthopäde 1998;27(1):51–63. PubMed PMID: 9540102.
28. Morvan G, Mathieu P, Vuillemin V, Guerini H, Bossard P, Zeitoun F, et al. Standardized way for imaging of the sagittal spinal balance. Eur Spine J 2011;20 Suppl 5:602–8. doi: 10.1007/s00586-011-1927-y. PubMed PMID: 21830081.
29. Sairyo K, Katoh S, Takata Y, Terai T, Yasui N, Goel VK, et al. MRI signal changes of the pedicle as an indicator for early diagnosis of spondylolysis in children and adolescents: a clinical and biomechanical study. Spine (Phila Pa 1976) 2006;31(2):206–11. PubMed PMID: 16418642.
30. Sairyo K, Katoh S, Ikata T, Fujii K, Kajiura K, Goel VK. Development of spondylolytic olisthesis in adolescents. Spine J 2001;1(3):171–5. PubMed PMID: 14588344.
31. Steiner ME, Micheli LJ. Treatment of symptomatic spondylolysis and spondylolisthesis with the modified Boston brace. Spine (Phila Pa 1976) 1985;10(10):937–43. PubMed PMID: 3914087.
32. Vibert BT, Sliva CD, Herkowitz HN. Treatment of instability and spondylolisthesis: surgical versus nonsurgical treatment. Clin Orthop Relat Res 2006(443):222–7. doi: 10.1097/01.blo.0000200233.99436.ea. PubMed PMID: 16462445.
33. Fleege C, Rickert M, Rauschmann M. The PLIF and TLIF techniques. Indication, technique, advantages, and disadvantages. Der Orthopäde 2015;44(2):114–23. doi: 10.1007/s00132-014-3065-9. PubMed PMID: 25588711.
34. Spetzger U, Bertalanffy H, Naujokat C, Keyserlingk DG von, Gilsbach JM. Unilateral laminotomy for bilateral decompression of lumbar spinal stenosis. Part I: Anatomical and surgical considerations. Acta Neurochir (Wien) 1997;139(5):392–6. PubMed PMID: 9204106.
35. Overvest GM, Jacobs W, Vleggeert-Lankamp C, Thome C, Gunzburg R, Peul W. Effectiveness of posterior decompression techniques compared with conventional laminectomy for lumbar stenosis. Cochrane Database Syst Rev 2015;3:CD010036. doi: 10.1002/14651858.CD010036.pub2. PubMed PMID: 25760812.
36. Imhoff AB, Linke RD, Baumgartner R. Checkliste Orthopädie: 47 Videos. 3rd ed. Checklisten der aktuellen Medizin. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2014. 682 S.



37. Rickert M, Rauschmann M, Fleege C, Behrbalk E, Harms J. Interbody fusion procedures. Development from a historical perspective. *Der Orthopäde* 2015;44(2):104–13. doi: 10.1007/s00132-015-3076-1. PubMed PMID: 25626703.
38. Park P, Garton HJ, Gala VC, Hoff JT, McGillicuddy JE. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29(17):1938–44. PubMed PMID: 15534420.
39. Umehara S, Zindrick MR, Patwardhan AG, Havey RM, Vrbos LA, Knight GW, et al. The biomechanical effect of postoperative hypolordosis in instrumented lumbar fusion on instrumented and adjacent spinal segments. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000;25(13):1617–24. PubMed PMID: 10870136.
40. Rothaug J, Weiss T, Meissner W. Externe Validität der schmerzbedingten Funktionsbeeinträchtigung : Messen wir, was wir messen wollen? *Schmerz* 2012;26(4):396–401. doi: 10.1007/s00482-012-1154-4. PubMed PMID: 22729803.
41. Crawford JR, Henry JD. The Depression Anxiety Stress Scales (DASS): normative data and latent structure in a large non-clinical sample. *Br J Clin Psychol* 2003;42(Pt 2):111–31. doi: 10.1348/01446650321903544. PubMed PMID: 12828802.
42. Kroenke K, Spitzer RL, Williams JB. The PHQ-9: validity of a brief depression severity measure. *J Gen Intern Med* 2001;16(9):606–13. PubMed PMID: 11556941.
43. Payares K, Lugo LH, Restrepo A. Validation of the Roland Morris Questionnaire in Colombia to Evaluate Disability in Low Back Pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2015;40(14):1108–14. doi: 10.1097/BRS.0000000000000963. PubMed PMID: 25943080.
44. Fairbank JC, Pynsent PB. The Oswestry Disability Index. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000;25(22):2940-52; discussion 2952. doi: 10.1097/00007632-200011150-00017. PubMed PMID: 11074683.
45. Akbar M, Terran J, Ames CP, Lafage V, Schwab F. Use of Surgimap Spine in sagittal plane analysis, osteotomy planning, and correction calculation. *Neurosurg Clin N Am* 2013;24(2):163–72. doi: 10.1016/j.nec.2012.12.007. PubMed PMID: 23561555.
46. Weiß C. Basiswissen Medizinische Statistik. 7th ed. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer; 2019. 331 p.
47. Martin A. Loher. Mittelfristige Ergebnisse der minimalinvasiven multimodalen Injektionstherapie bei Patienten mit radikulärem LWS-Syndrom [Dissertation]. Regensburg: Fakultät für Medizin der Universität Regensburg; 2014.
48. Statistisches Jahrbuch Deutschland 2019: - letztmalige Ausgabe - Titel wird eingestellt. 1st ed. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt; 2019. 700 p.
49. Andrea Werner. Vergleichende Untersuchung monosegmentaler und bisegmentaler Spondylodesen: Analyse klinischer, radiologischer und

- bewegungsanalytischer Ergebnisse mono- und bisegmentaler Fusionsoperationen mit und ohne Einschluss des Os sacrum nach durchschnittlichem 5,7-Jahres-Follow-up [Dissertation]. Greifswald: Ernst-Moritz-Arndt-Universität; 2010.
50. Holzapfel B. Langzeitergebnisse nach ein- und mehrsegmentalen Spondylodesen der Lendenwirbelsäule mit Pedikelschrauben. Dissertation, LMU München: Medizinische Fakultät [Dissertation]. München: LMU; 2008.
  51. Leveque J-CA, Segebarth B, Schroerlucke SR, Khanna N, Pollina J, Youssef JA, et al. A Multicenter Radiographic Evaluation of the Rates of Preoperative and Postoperative Malalignment in Degenerative Spinal Fusions. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018;43(13):E782-E789. doi: 10.1097/BRS.0000000000002500. PubMed PMID: 29189645.
  52. Cho K-J, Suk S-I, Park S-R, Kim J-H, Kim S-S, Lee T-J, et al. Short fusion versus long fusion for degenerative lumbar scoliosis. *Eur Spine J* 2008;17(5):650–6. doi: 10.1007/s00586-008-0615-z. PubMed PMID: 18270753; PubMed Central PMCID: PMC2367413.
  53. Liu H, Li S, Wang J, Wang T, Yang H, Li Z, et al. An analysis of spinopelvic sagittal alignment after lumbar lordosis reconstruction for degenerative spinal diseases: how much balance can be obtained? *Spine (Phila Pa 1976)* 2014;39(26 Spec No):9. doi: 10.1097/BRS.0000000000000500. PubMed PMID: 25504101.
  54. Jackson RP, McManus AC. Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1994;19(14):1611–8. doi: 10.1097/00007632-199407001-00010. PubMed PMID: 7939998.
  55. Bernhardt M, Bridwell KH. Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction. *Spine (Phila Pa 1976)* 1989;14(7):717–21. doi: 10.1097/00007632-198907000-00012. PubMed PMID: 2772721.
  56. Stagnara P, Mauroy JC de, Dran G, Gonon GP, Costanzo G, Dimnet J, et al. Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1982;7(4):335–42. doi: 10.1097/00007632-198207000-00003. PubMed PMID: 7135066.
  57. Radovanovic I, Urquhart JC, Ganapathy V, Siddiqi F, Gurr KR, Bailey SI, et al. Influence of postoperative sagittal balance and spinopelvic parameters on the outcome of patients surgically treated for degenerative lumbar spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine* 2017;26(4):448–53. doi: 10.3171/2016.9.SPINE1680. PubMed PMID: 28106523.
  58. Patel N, Bagan B, Vadera S, Maltenfort MG, Deutsch H, Vaccaro AR, et al. Obesity and spine surgery: relation to perioperative complications. *J Neurosurg Spine* 2007;6(4):291–7. doi: 10.3171/spi.2007.6.4.1. PubMed PMID: 17436915.

59. Djurasovic M, Bratcher KR, Glassman SD, Dimar JR, Carreon LY. The effect of obesity on clinical outcomes after lumbar fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33(16):1789–92. doi: 10.1097/BRS.0b013e31817b8f6f. PubMed PMID: 18628712.
60. Ekman P, Möller H, Hedlund R. Predictive factors for the outcome of fusion in adult isthmic spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009;34(11):1204–10. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181a19e66. PubMed PMID: 19444068.
61. Gehrchen PM, Dahl B, Katonis P, Blyme P, Tøndevold E, Kiaer T. No difference in clinical outcome after posterolateral lumbar fusion between patients with isthmic spondylolisthesis and those with degenerative disc disease using pedicle screw instrumentation: a comparative study of 112 patients with 4 years of follow-up. *Eur Spine J* 2002;11(5):423–7. doi: 10.1007/s00586-002-0401-2. PubMed PMID: 12384748; PubMed Central PMCID: PMC3611323.
62. Triebel J, Snellman G, Sandén B, Strömqvist F, Robinson Y. Women do not fare worse than men after lumbar fusion surgery: Two-year follow-up results from 4,780 prospectively collected patients in the Swedish National Spine Register with lumbar degenerative disc disease and chronic low back pain. *Spine J* 2017;17(5):656–62. doi: 10.1016/j.spinee.2016.11.001. PubMed PMID: 27845232.
63. Lemcke J, Klötzer S, Klötzer R, Meier U. PLIF und ALIF zur operativen Therapie der degenerativen lumbalen Instabilität. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2007;145(1):48–54. doi: 10.1055/s-2007-960512. PubMed PMID: 17345543.
64. Quante M, Kesten H, Richter A, Halm H. Transforaminale lumbale interkorporelle Fusion zur Versorgung der degenerativen Spondylolisthese. *Orthopade* 2012;41(2):153–62. doi: 10.1007/s00132-011-1832-4. PubMed PMID: 22033696.
65. Ahlquist S, Park HY, Gatto J, Shamie AN, Park DY. Does approach matter? A comparative radiographic analysis of spinopelvic parameters in single-level lumbar fusion. *Spine J* 2018;18(11):1999–2008. doi: 10.1016/j.spinee.2018.03.014. PubMed PMID: 29631061.
66. Aoki Y, Nakajima A, Takahashi H, Sonobe M, Terajima F, Saito M, et al. Influence of pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch on surgical outcomes of short-segment transforaminal lumbar interbody fusion. *BMC Musculoskelet Disord* 2015;16:213. doi: 10.1186/s12891-015-0676-1. PubMed PMID: 26289077; PubMed Central PMCID: PMC4545935.
67. Deyo RA, Hallvik SE, Hildebran C, Marino M, O’Kane N, Carson J, et al. Use of prescription opioids before and after an operation for chronic pain (lumbar fusion surgery). *Pain* 2018;159(6):1147–54. doi: 10.1097/j.pain.0000000000001202. PubMed PMID: 29521813; PubMed Central PMCID: PMC5955818.
68. Bourghli A, Boissiere L, Larrieu D, Kaissar F, Cawley D, Fujishiro T, et al. Opioids and analgesics use after adult spinal deformity surgery correlates with sagittal alignment and preoperative analgesic pattern. *Eur Spine J* 2020;29(1):73–84. doi: 10.1007/s00586-019-06141-8. PubMed PMID: 31493111.

69. Ekman P, Möller H, Tullberg T, Neumann P, Hedlund R. Posterior lumbar interbody fusion versus posterolateral fusion in adult isthmic spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007;32(20):2178–83. doi: 10.1097/BRS.0b013e31814b1bd8. PubMed PMID: 17873808.
70. Funao H, Kebaish FN, Skolasky RL, Kebaish KM. Clinical results and functional outcomes after three-column osteotomy at L5 or the sacrum in adult spinal deformity. *Eur Spine J* 2020. doi: 10.1007/s00586-019-06255-z. PubMed PMID: 31993787.
71. Chapin L, Ward K, Ryken T. Preoperative Depression, Smoking, and Employment Status are Significant Factors in Patient Satisfaction After Lumbar Spine Surgery. *Clin Spine Surg* 2017;30(6):E725-E732. doi: 10.1097/BSD.0000000000000331. PubMed PMID: 28632560.
72. Yoo JS, Patel DV, Mayo BC, Massel DH, Karmarkar SS, Lamoutte EH, et al. Postoperative satisfaction following lumbar spinal fusion surgery: patient expectation versus actuality. *J Neurosurg Spine* 2019:1–7. doi: 10.3171/2019.5.SPINE19213. PubMed PMID: 31349221.
73. Yoshihara H. Sacroiliac joint pain after lumbar/lumbosacral fusion: current knowledge. *Eur Spine J* 2012;21(9):1788–96. doi: 10.1007/s00586-012-2350-8. PubMed PMID: 22581257; PubMed Central PMCID: PMC3459112.
74. Ahn Y, Lee S-H. Iatrogenic sacroiliac joint syndrome after percutaneous pedicle screw fixation at the L5-S1 level: case report. *Neurosurgery* 2010;67(3):E865-6; discussion E866. doi: 10.1227/01.NEU.0000374856.26808.80. PubMed PMID: 20657322.
75. Maigne JY, Planchon CA. Sacroiliac joint pain after lumbar fusion. A study with anesthetic blocks. *Eur Spine J* 2005;14(7):654–8. doi: 10.1007/s00586-004-0692-6. PubMed PMID: 15761709; PubMed Central PMCID: PMC3489225.
76. Unoki E, Abe E, Murai H, Kobayashi T, Abe T. Fusion of Multiple Segments Can Increase the Incidence of Sacroiliac Joint Pain After Lumbar or Lumbosacral Fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 2016;41(12):999–1005. doi: 10.1097/BRS.0000000000001409. PubMed PMID: 26689576.
77. Unoki E, Miyakoshi N, Abe E, Kobayashi T, Abe T, Shimada Y. Sacroiliac joint pain after multiple-segment lumbar fusion: a long-term observational study-Non-fused sacrum vs. fused sacrum. *Spine Surg Relat Res* 2017;1(2):90–5. doi: 10.22603/ssrr.1.2016-0010. PubMed PMID: 31440618; PubMed Central PMCID: PMC6698558.
78. Shin M-H, Ryu K-S, Hur J-W, Kim J-S, Park C-K. Comparative study of lumbopelvic sagittal alignment between patients with and without sacroiliac joint pain after lumbar interbody fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013;38(21):E1334-41. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182a0da47. PubMed PMID: 23797504.
79. Keeley J, Mayer TG, Cox R, Gatchel RJ, Smith J, Mooney V. Quantification of lumbar function. Part 5: Reliability of range-of-motion measures in the sagittal

- plane and an in vivo torso rotation measurement technique. *Spine (Phila Pa 1976)* 1986;11(1):31–5. PubMed PMID: 2939567.
80. Mayer TG, Tencer AF, Kristoferson S, Mooney V. Use of noninvasive techniques for quantification of spinal range-of-motion in normal subjects and chronic low-back dysfunction patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 1984;9(6):588–95. doi: 10.1097/00007632-198409000-00009. PubMed PMID: 6238424.
81. Frost M, Stuckey S, Smalley LA, Dorman G. Reliability of measuring trunk motions in centimeters. *Phys Ther* 1982;62(10):1431–7. doi: 10.1093/ptj/62.10.1431. PubMed PMID: 7122701.
82. Gauvin MG, Riddle DL, Rothstein JM. Reliability of clinical measurements of forward bending using the modified fingertip-to-floor method. *Phys Ther* 1990;70(7):443–7. doi: 10.1093/ptj/70.7.443. PubMed PMID: 2141425.
83. Kippers V, Parker AW. Toe-touch test. A measure of its validity. *Phys Ther* 1987;67(11):1680–4. doi: 10.1093/ptj/67.11.1680. PubMed PMID: 3671506.
84. Danielsson AJ, Romberg K, Nachemson AL. Spinal range of motion, muscle endurance, and back pain and function at least 20 years after fusion or brace treatment for adolescent idiopathic scoliosis: a case-control study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31(3):275–83. doi: 10.1097/01.brs.0000197652.52890.71. PubMed PMID: 16449899.
85. Stief F, Meurer A, Wienand J, Rauschmann M, Rickert M. Has a Mono- or Bisegmental Lumbar Spinal Fusion Surgery an Influence on Self-Assessed Quality of Life, Trunk Range of Motion, and Gait Performance? *Spine (Phila Pa 1976)* 2015;40(11):E618-26. doi: 10.1097/BRS.0000000000000885. PubMed PMID: 25785956.
86. Pincus T, Burton AK, Vogel S, Field AP. A systematic review of psychological factors as predictors of chronicity/disability in prospective cohorts of low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002;27(5):E109-20. doi: 10.1097/00007632-200203010-00017. PubMed PMID: 11880847.
87. Wagner A, Shiban Y, Wagner C, Aftahy K, Joerger A-K, Meyer B, et al. Psychological predictors of quality of life and functional outcome in patients undergoing elective surgery for degenerative lumbar spine disease. *Eur Spine J* 2020;29(2):349–59. doi: 10.1007/s00586-019-06106-x. PubMed PMID: 31414288.
88. Lee J, Kim H-S, Shim K-D, Park Y-S. The Effect of Anxiety, Depression, and Optimism on Postoperative Satisfaction and Clinical Outcomes in Lumbar Spinal Stenosis and Degenerative Spondylolisthesis Patients: Cohort Study. *Clin Orthop Surg* 2017;9(2):177–83. doi: 10.4055/cios.2017.9.2.177. PubMed PMID: 28567219; PubMed Central PMCID: PMC5435655.
89. Azfar SM, Murad MA, Azim SR, Baig M. Frequency of and Various Factors Associated with Stress, Anxiety, and Depression among Low Back Pain Patients. *Cureus* 2019;11(9):e5701. doi: 10.7759/cureus.5701. PubMed PMID: 31720169; PubMed Central PMCID: PMC6823031.

90. Ng F, Trauer T, Dodd S, Callaly T, Campbell S, Berk M. The validity of the 21-item version of the Depression Anxiety Stress Scales as a routine clinical outcome measure. *Acta Neuropsychiatr* 2007;19(5):304–10. doi: 10.1111/j.1601-5215.2007.00217.x. PubMed PMID: 26952943.
91. Schwab FJ, Blondel B, Bess S, Hostin R, Shaffrey CI, Smith JS, et al. Radiographical spinopelvic parameters and disability in the setting of adult spinal deformity: a prospective multicenter analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013;38(13):12. doi: 10.1097/BRS.0b013e318292b7b9. PubMed PMID: 23722572.
92. Zhang H-C, Zhang Z-F, Wang Z-H, Cheng J-Y, Wu Y-C, Fan Y-M, et al. Optimal Pelvic Incidence Minus Lumbar Lordosis Mismatch after Long Posterior Instrumentation and Fusion for Adult Degenerative Scoliosis. *Orthop Surg* 2017;9(3):304–10. doi: 10.1111/os.12343. PubMed PMID: 28960816; PubMed Central PMCID: PMC6584469.
93. Inami S, Moridaira H, Takeuchi D, Shiba Y, Nohara Y, Taneichi H. Optimum pelvic incidence minus lumbar lordosis value can be determined by individual pelvic incidence. *Eur Spine J* 2016;25(11):3638–43. doi: 10.1007/s00586-016-4563-8. PubMed PMID: 27072550.
94. Scheer JK, Smith JS, Clark AJ, Lafage V, Kim HJ, Rolston JD, et al. Comprehensive study of back and leg pain improvements after adult spinal deformity surgery: analysis of 421 patients with 2-year follow-up and of the impact of the surgery on treatment satisfaction. *J Neurosurg Spine* 2015;22(5):540–53. doi: 10.3171/2014.10.SPINE14475. PubMed PMID: 25700238.

## 7 Anhang

### 7.1 Abkürzungsverzeichnis

Procc.	Processus (plural)
Lig./ Ligg.	Ligamentum/ Ligamenta
PI	Pelvic Incidence
PT	Pelvic Tilt
SS	Sacral Slope
SVA	Sagittal Vertical Axis
TK	Thorakale Kyphose
LL	Lumbale Lordose/ Lendenlordose
d. h.	das heißt
HWK	Halswirbelkörper
BWK	Brustwirbelkörper
SWK	Sakralwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
SRS	Scoliosis Research Society
T1Spi/ T9Spi	Th1/ Th9 (thoracic) Spine Inclination
CT	Computer Tomographie
MRT	Magnetresonanztomographie
NSAR	nicht – steroidale Antirheumatika
ALIF/ PLIF/ TLIF	anteriore/ posteriore/ transforaminale lumbale interkorporale Fusion
XLIF/ OLIF	extreme/ oblique laterale interkorporale Fusion

## Anhang

ASD	Adjacentsegmentdisease
NRS	Numerische Ratingskala Schmerz
DASS	Depression – Angst – Stress – Skala
PHQ – 9	Patient Health Questionnaire
ODI	Oswestry Disability Index
FB	Fragebogen
vgl.	vergleiche
bzgl.	bezüglich
SD	standard deviation (Standardabweichung)
BMI	Body-Mass-Index
LL GKWS	Lendenlordose der Ganzkörperwirbelsäule
prä – op/ post – op	präoperativ/ postoperativ
♂/♀	männlich/ weiblich
ISG	Iliosakralgelenk
FBA	Finger – Boden – Abstand
VAS	Visuelle Analogskala
MW	Mittelwert
ADS – K	Allgemeine Depressions – Skala Kurzform
STAI - (S/T)	State Trait Anxiety Inventory
AIS – 3	Angst – Inhalts – Skala
PTSS – 10	Posttraumatische – Stress – Skala
HADS	Hospital Anxiety and Depression Scale
LOT – R	Life – Orientation – Tests



## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Sagittale Parameter der Wirbelsäule in der Schemazeichnung .....	11
Abbildung 2:	Drop – out mit Angaben des Grundes in absoluten und prozentualen Zahlen (n = 81) .....	25
Abbildung 3:	Surgimap Ausmessungen der spinopelvinen Parameter (links) und SVA Ausmessung (rechts) am selben Patienten .....	31
Abbildung 4:	Anzahl der Probanden der jeweiligen Gruppen.....	36
Abbildung 5:	Alter bezogen auf die Gruppen.....	39
Abbildung 6:	BMI bezogen auf die Gruppen.....	39
Abbildung 7:	Gesamtkollektiv innerhalb bzw. außerhalb von PI = LL +/- 10 in Prozent (links) und im Gruppenvergleich (rechts).....	40
Abbildung 8:	Gesamtkollektiv bezogen auf die SVA in Prozent (links) und im Gruppenvergleich (rechts).....	41
Abbildung 9:	Prozentualer Anteil der unteren Lendenlordose an der gesamten Lendenlordose im Gruppenvergleich.....	42
Abbildung 10:	Korrelation BMI zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“ .....	44
Abbildung 11:	Korrelation BMI zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“ .....	45
Abbildung 12:	Korrelation BMI zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“ .....	45
Abbildung 13:	Korrelation BMI zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“ .....	46
Abbildung 14:	Korrelation BMI zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“ .....	47
Abbildung 15:	Korrelation BMI zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“ .....	47
Abbildung 16:	Korrelation BMI zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“ .....	48
Abbildung 17:	Korrelation BMI zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“ .....	48

Abbildung 18:	Korrelation Alter zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“.....	49
Abbildung 19:	Korrelation Alter zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“.....	50
Abbildung 20:	Korrelation Alter zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“.....	50
Abbildung 21:	Korrelation Alter zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“.....	51
Abbildung 22:	Korrelation Alter zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“.....	52
Abbildung 23:	Korrelation Alter zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“.....	52
Abbildung 24:	Korrelation Alter zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“.....	52
Abbildung 25:	Korrelation Alter zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“.....	53
Abbildung 26:	Korrelation Geschlecht zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“.....	54
Abbildung 27:	Korrelation Geschlecht zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“.....	54
Abbildung 28:	Korrelation Geschlecht zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“.....	55
Abbildung 29:	Korrelation Geschlecht zu Rückenschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“.....	56
Abbildung 30:	Korrelation Geschlecht zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „monosegmental“.....	57
Abbildung 31:	Korrelation Geschlecht zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental“.....	57
Abbildung 32:	Korrelation Geschlecht zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „Fraktur“.....	58
Abbildung 33:	Korrelation Geschlecht zu Beinschmerzen prä- und post – op Gruppe „multisegmental nur FB“.....	59
Abbildung 34:	Schmerzveränderung bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	61

Abbildung 35:	Schmerzmittelkonsum innerhalb der Gruppen.....	62
Abbildung 36:	Schmerzmittelkonsum bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	64
Abbildung 37:	Zufriedenheit mit dem OP – Ergebnis im Gesamtkollektiv.....	65
Abbildung 38:	Zufriedenheit mit dem OP – Ergebnis innerhalb der Gruppen.....	67
Abbildung 39:	Zufriedenheit mit dem OP – Ergebnis bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	68
Abbildung 40:	Druckschmerz ISG bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	70
Abbildung 41:	Reklinationsschmerz bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	72
Abbildung 42:	FBA bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	74
Abbildung 43:	DASS (Depression) bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	76
Abbildung 44:	DASS (Angst) bezogen auf die PI – LL Diskrepanz Gruppe „multisegmental“.....	77
Abbildung 45:	DASS (Stress) bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental).....	78
Abbildung 46:	ODI bezogen auf die PI – LL Diskrepanz im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	80
Abbildung 47:	DASS (Depression) bezogen auf die SVA im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	82
Abbildung 48:	DASS (Angst) bezogen auf die SVA Gruppe „multisegmental“.....	83
Abbildung 49:	DASS (Stress) bezogen auf die SVA im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental).....	84
Abbildung 50:	ODI bezogen auf die SVA im Gruppenvergleich (monosegmental, multisegmental, Fraktur).....	86

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geschlechterverteilung.....	37
Tabelle 2: Mehrfachvergleich bzgl. des Alters zwischen den einzelnen Gruppen.....	38
Tabelle 3: Paarweise Vergleiche von Gruppen .....	66

## **8 Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Stefanie Wolkerstorfer, Amberg, den 12.04.2021

## 9 Danksagung

Mein Dank gilt allen, die diese Promotion unterstützt haben:

- meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Achim Benditz, der die Arbeit von Anfang an mit großem Einsatz gefördert hat
- allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Orthopädischen Klinik für die Universität Regensburg am Asklepios – Klinikum Bad Abbach, die zum Gelingen der Nachuntersuchung und deren Koordination beigetragen haben
- und den Patientinnen und Patienten, die sich für diese Studie zur Verfügung gestellt haben.

Mein besonders herzlicher Dank gilt meiner Familie. Der Dank geht vor allem an meine Eltern, die mir mein Studium der Medizin und damit auch diese Promotionsarbeit ermöglichten und mich persönlich immer unterstützten. Vielen Dank.